

AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DE FUNGOS EM PAREDES DE TABIQUE E PLACAS DE GESSO CARTONADO COM DIFERENTES SISTEMAS DE PINTURA

ANA CATARINA FERREIRA DA ROCHA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professora Doutora Eva Sofia Botelho Machado Barreira

Coorientador: Professor Doutor Ricardo Manuel dos Santos Ferreira
de Almeida

JUNHO DE 2017

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2016/2017

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2016/2017 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus avós

“Sê todo em cada coisa.

Põe quanto és no mínimo que fazes.”

Ricardo Reis (Heterónimo de Fernando Pessoa)

AGRADECIMENTOS

Ao finalizar este trabalho não poderia deixar de agradecer a todos aqueles que, de várias formas contribuíram para a sua realização.

Em primeiro lugar, agradeço à Professora Eva Barreira e ao Professor Ricardo Almeida, por toda a disponibilidade e paciência, pelo enorme apoio e simpatia em todos os momentos, por todos os conselhos e ensinamentos, sem os quais este trabalho não teria sido possível.

Agradeço às TINTAS ROBBIALAC S.A, pelo fornecimento e aplicação dos sistemas de pintura e apoio técnico, nomeadamente à Eng.^a Ana Pereira, à Eng.^a Sofia Teodósio, à Eng.^a Isabel Rato e à Eng.^a Ana Martinho.

Ao Laboratório de Física das Construções da FEUP, pela disponibilização de todo o material e equipamentos necessários para desenvolver o presente trabalho.

Ao Laboratório de Biologia, associado ao Departamento de Ambiente, da ESTGV (Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu), em particular à Professora Elisabete Silva e à Catarina pela parceria, fundamental para alcançar os objetivos deste trabalho.

Agradeço à minha família, que sempre cuidou de mim. À minha mãe e ao Nelo pelo apoio incondicional e por tornarem possível eu chegar até aqui. A todos os outros um enorme obrigada pela motivação e compreensão nesta fase final.

Por último, agradecer aos meus amigos, em particular à Cátia, Sandra, Bruno e Pedro por toda a paciência, principalmente nesta etapa, por todas as críticas fundamentadas e por nunca me deixarem desmotivar. Agradeço, em especial ao José e à Laura por estarem sempre presentes e por todo o empenho e dedicação na revisão do trabalho.

RESUMO

O crescimento de fungos no interior dos edifícios ocorre sobretudo nas paredes e nos tetos. Para além de afetarem a saúde dos ocupantes, tem consequências na durabilidade e no aspeto dos elementos construtivos. A inibição da proliferação destes microrganismos pode ser alcançada através da utilização de sistemas de pintura adequados para o efeito. No entanto, o tipo de substrato a revestir é igualmente importante na escolha das tintas a aplicar.

No presente trabalho pretendeu-se avaliar o desempenho de quatro tipos de substratos revestidos com sistemas de pintura diferentes na inibição do crescimento fúngico. Para tal, foram utilizados provetes extraídos de uma parede de tabique de um edifício histórico da cidade de Viseu, que originaram dois substratos diferentes, uma vez que se selecionaram duas argamassas diferentes (uma de cal e outra de cal e cimento). Pela sua significativa utilização nas intervenções em edifícios, o gesso cartonado foi também abrangido no estudo, sendo ensaiado gesso cartonado normal e gesso cartonado hidrófugo. Nos provetes de tabique realizaram-se oito sistemas de pintura que englobaram tintas de cal, tintas de silicatos e ainda tintas com resinas de natureza orgânica. Nos provetes de gesso cartonado apenas se ensaiaram dois sistemas de pintura, constituídos por tintas com resinas de natureza orgânica. Os provetes foram ensaiados com e sem inoculação de fungos. Para cada um dos cenários, testaram-se três réplicas, num total de 120 amostras. O ensaio realizou-se numa câmara climática com condições de humidade relativa e temperatura constantes, durante cerca de 5 meses.

O crescimento visível de fungos em cada uma das amostras, observou-se por inspeção visual seguida de uma análise quantitativa. A análise quantitativa realizou-se através de dois procedimentos distintos, um adequado aos provetes de tabique e outro aos provetes de gesso cartonado. Para além disso, realizaram-se recolhas de fungos, em todas as amostras, de forma a obter o número unidades formadoras de colónias de fungos ao longo do ensaio.

As placas de gesso cartonado apresentaram quantidades de fungos muito superiores às encontradas nas paredes de tabique. Em ambas as paredes de tabique o sistema de pintura, constituído por primário de natureza acrílica e por acabamento à base de cal, apresentou o desempenho mais desfavorável à inibição do crescimento fúngico.

PALAVRAS-CHAVE: Fungos, Sistemas de pintura, Paredes de tabique, Placas de gesso cartonado

ABSTRACT

Growth of fungi inside buildings occurs mainly on the walls and ceilings. Besides affecting the health of occupants, it has consequences on the durability and appearance of the building's elements. In order to inhibit proliferation of microorganisms, it is possible to use suitable painting systems in each case. However, the type of substrate to be coated is equally important in the choice of inks to be applied.

This work aims to evaluate the performance of four types of coated substrates with different painting systems on inhibition of fungal growth. For this purpose, samples extracted from a tabique wall in a historic building in the city of Viseu were used, which originated two different substrates, because two different mortars were selected (one made only from lime and another from lime and cement).

Due to its significant use in building interventions, plasterboard was also included in the study, being tested normal plasterboard and waterproof plasterboard. In the tabique walls, eight painting systems were used, which included lime paints, silicate paints and paints with organic nature resins. The test pieces were assayed with and without fungal inoculation. For each of the scenarios, three replicates were tested, for a total of 120 samples. The experiment was made in a climatic chamber with constant humidity and temperature conditions along five months.

The visible growth of fungi in each of the samples was observed by visual inspection followed by a quantitative analysis. The analysis was made by two procedures, one suited for the wall test pieces and the other for the plasterboard test pieces. In addition, fungal collections were performed on all samples in order to obtain the number of colony forming units during the assay.

The plasterboard exhibited much higher amounts of fungi than those found in the tabique walls. In both tabique walls the painting system, with acrylic primer and lime base finishing, showed the most unfavorable performance to the inhibition of fungal growth.

KEYWORDS: Fungi, Painting systems, Tabique walls, Plasterboard

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
 1 Introdução	 1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO	2
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO	2
 2 Estado da Arte	 5
2.1. FUNGOS NOS EDIFÍCIOS	5
2.1.1. GENERALIDADES	5
2.1.2. DEFINIÇÃO DE FUNGOS	6
2.1.3. FUNGOS MAIS COMUNS NOS EDIFÍCIOS	6
2.1.4. CONDIÇÕES FAVORÁVEIS AO CRESCIMENTO DOS FUNGOS	7
2.1.4.1. Humidade	7
2.1.4.2. Temperatura	8
2.1.4.3. Nutrientes presentes no substrato	9
2.1.4.4. Outros fatores	10
2.1.5. MEDIDAS DE PREVENÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DE FUNGOS	10
2.1.6. CONSEQUÊNCIAS DO DESENVOLVIMENTO DE FUNGOS	11
2.1.7. MODELOS DESENVOLVIDOS PARA A PREVISÃO DO CRESCIMENTO DE FUNGOS	12
2.1.7.1. Isopleth Models	12
2.1.7.2. Biohygrothermal Model	14
2.1.8. TRABALHOS REALIZADOS	15
2.2. TINTAS APLICADAS EM PAREDES E TETOS	17
2.2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	17
2.2.2. CONSTITUIÇÃO DE TINTAS	18
2.2.3. CLASSIFICAÇÃO DAS TINTAS	19
2.2.4. CARACTERÍSTICAS DAS TINTAS	20
2.2.5. TINTAS E O DESENVOLVIMENTO DE FUNGOS	22

3 Metodologia	23
3.1. ENQUADRAMENTO	23
3.2. PREPARAÇÃO DOS PROVETES	23
3.2.1. PAREDES DE TABIQUE	23
3.2.2. GESSO CARTONADO	25
3.2.3. SISTEMAS DE PINTURA	26
3.3. PREPARAÇÃO DO ENSAIO	28
3.3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	28
3.3.2. INOCULAÇÃO DOS PROVETES	29
3.3.3. SISTEMA DE CONTROLO	30
3.4. PROCEDIMENTOS PARA AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DE FUNGOS	31
3.4.1. PROCEDIMENTO I – CONTAGEM DE UFC	31
3.4.2. PROCEDIMENTO II – INSPEÇÃO VISUAL E ANÁLISE QUANTITATIVA	33
3.4.2.1. Procedimento II.1	33
3.4.2.2. Procedimento II.2	34
3.4.2.3. Procedimento II.2.1	34
3.4.2.4. Procedimento II.2.2	36
3.4.3. PLANO DE TRABALHOS	38
4 Resultados	41
4.1. PROCEDIMENTO I – CONTAGEM DE UFC	41
4.1.1. GESSO CARTONADO NORMAL (G1)	41
4.1.2. GESSO CARTONADO HIDRÓFUGO (G2)	44
4.1.3. PAREDE T1	46
4.1.4. PAREDE T2	50
4.2. PROCEDIMENTO II – REGISTO FOTOGRÁFICO	54
4.2.1. GESSO CARTONADO NORMAL (G1)	54
4.2.1.1. Procedimento II.1	54
4.2.1.2. Procedimento II.2.1	58
4.2.2. GESSO CARTONADO HIDRÓFUGO (G2)	59
4.2.2.1. Procedimento II.1	59
4.2.2.2. Procedimento II.2.1	63
4.2.3. PAREDE T1	65

4.2.3.1. Procedimento II.1	65
4.2.3.2. Procedimento II.2.2	67
4.2.4. PAREDE T2	67
4.2.4.1. Procedimento II.1	67
4.2.4.2. Procedimento II.2.2	69
4.3. SÍNTESE CRÍTICA.....	70

5 Discussão de Resultados..... 71

5.1. CONTAGEM DE UFC Vs. INSPEÇÃO VISUAL 71

5.2. ANÁLISE DOS SISTEMAS DE PINTURA 73

5.2.1. GESSO CARTONADO NORMAL (G1) 73

5.2.2. GESSO CARTONADO HIDRÓFUGO (G2) 75

5.2.3. PAREDE T1 76

5.2.4. PAREDE T2 78

5.2.5. INFLUÊNCIA DO SUBSTRATO..... 81

5.3. SÍNTESE CRÍTICA..... 82

6 Conclusões 83

6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS 83

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS 84

Referências Bibliográficas..... 85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Desenvolvimento de fungos em paredes interiores [5].....	5
Figura 2 – Ciclo de vida dos fungos filamentosos (adaptado de [9])	6
Figura 3 – Crescimento de fungos em função da humidade relativa (adaptado de [1])	8
Figura 4 – Crescimento de fungos em função da temperatura, (adaptado de [1])	8
Figura 5 – Condições de crescimento de fungos em função da temperatura e humidade relativa (adaptado de [16])	9
Figura 6 – Desenvolvimento de fungos em função da qualidade do substrato (adaptado de [1])	9
Figura 7 – Condições mínimas temperatura e humidade relativa, para seis categorias de fungos (adaptado de [25])	13
Figura 8 – Modelo de curvas isopleth, para fungos que se desenvolvem nos substratos I e II: a) germinação dos esporos; b) crescimento do micélio (adaptado de [1])	14
Figura 9 – Princípio do desenvolvimento do modelo biohygrothermal, parede com esporo fúngico (ampliado) (adaptado de [25])	15
Figura 10 – Crescimento de fungos em diferentes amostras com inoculação: a) condições de 97% de HR e 22°C de temperatura; b) condições de 90% de HR e 22°C de temperatura (adaptado de [33]).	16
Figura 11 – Influência da PVC nas propriedades da película da tinta [40]	21
Figura 12 – Curvas granulométricas da areia utilizada no fabrico das argamassas a) areia fina; b) areia grossa.....	24
Figura 13 – Fases de construção dos provetes de tabique: a) recolha in-situ; b) estrutura de madeira antes da aplicação da argamassa; c) após aplicação da argamassa	24
Figura 14 – Parede 1 (argamassa de cal): a) esquema da parede; b) parede após aplicação de argamassa e realização de cortes	25
Figura 15 – Parede 2 (argamassa bastarda): a) esquema da parede b) parede após aplicação de argamassa e realização de cortes	25
Figura 16 – Gesso cartonado (esquema e placa após realização cortes): a) gesso cartonado normal; b) gesso cartonado hidrófugo.....	25
Figura 17 – Provetes após pintura: a) provete de tabique; b) provete de gesso cartonado.....	28
Figura 18 – Disposição dos provetes na câmara climática, (dimensões em metros).....	28
Figura 19 – Condições do ensaio: a) localização dos provetes (T1, T2, G1 e G2) no interior da câmara climática; b) condições de temperatura e humidade relativa.....	29
Figura 20 – Procedimento para inoculação dos provetes: a) recolha, com contacto de zaragatoa na área contaminada; b) isolamento e crescimento das colónias de fungos	29
Figura 21 – Nebulizador estéril para pulverização dos elementos dos provetes	30
Figura 22 – Sistema de controlo: a) fragmentos de algodão no interior da câmara climática; b) fragmentos associados aos provetes de tabique; c) fragmento associado aos provetes de gesso cartonado.....	31

Figura 23 – Fragmentos de algodão, sete dias após a inoculação: a) associado à parede T1(A _{T1}); b) associado à parede T2 (A _{T2}); c) associado ao gesso cartonado (A _G).	31
Figura 24 – Delimitação das zonas: a) elemento do provete (padrão); b) esquema com indicação da ordem das recolhas	32
Figura 25 – Zaragatoas antes da recolha efetuada nos elementos dos provetes	32
Figura 26 – Caixas de petri para contagem do número de UFC: a) contagem simples; b) método do quadrante; c) impossibilidade de contagem, após diluição	33
Figura 27 – Escala de cinzentos, com o sistema de cor RGB caracterizado	34
Figura 28 – Evolução do número de pixéis, em dois elementos dos provetes: a) e c) representam os três níveis definidos; b) e d) representam os níveis RGB (32, 32, 32) e RGB (64, 64, 64)	35
Figura 29 – Imagens, após tratamento inicial da fotografia, de duas semanas consecutivas do mesmo elemento	36
Figura 30 – Evolução do número de pixéis negros, de um elemento da parede T1	36
Figura 31 – Imagens, após tratamento inicial, referentes a um elemento do provete T1: a) semana 10; b) semana 11	37
Figura 32 – Identificação da cor aproximada dos fungos	38
Figura 33 – Plano de trabalhos	39
Figura 34 – Resultados, em nº UFC/cm ² , das seis recolhas realizadas no provete G1: a) face A (inoculada); b) face B (não inoculada)	42
Figura 35 – Crescimento fúngico, em nº UFC/cm ² , no provete G1: a) face A (inoculada); b) face B (não inoculada)	43
Figura 36 – Resultados das recolhas realizadas no provete G1, por elemento: a) face A; b) face B ..	43
Figura 37 – Resultados, em nº UFC/cm ² , das cinco recolhas realizadas no provete G2: a) face A; b) face B	45
Figura 38 – Crescimento fúngico, em nº UFC/cm ² , no provete G2: a) face A; b) face B	45
Figura 39 – Resultados das recolhas realizadas no provete G2, por elemento: a) face A; b) face B ..	46
Figura 40 – Resultados, em nº UFC/cm ² , das seis recolhas realizadas no provete T1: a) face A; b) face B	47
Figura 41 – Crescimento fúngico, em nº UFC/cm ² , no provete T1: a) face A; b) face B	48
Figura 42 – Crescimento fúngico, em nº UFC/cm ² , no provete T1 (esquemas 2 a 8): a) face A; b) face B	49
Figura 43 – Resultados das recolhas realizadas no provete T1, por elemento: a) face A; b) face B...	50
Figura 44 – Resultados, em nº UFC/cm ² , das seis recolhas realizadas no provete T2: a) face A; b) face B	51
Figura 45 – Crescimento fúngico, em nº UFC/cm ² , no provete T2: a) face A; b) face B	52
Figura 46 – Crescimento fúngico, em nº UFC/cm ² , no provete T2 (esquemas 10 a 16): a) face A; b) face B	53

Figura 47 – Resultados das recolhas realizadas no provete T2, por elemento: a) face A; b) face B...	54
Figura 48 – Registo fotográfico do elemento 17A, do provete G1: a) aos 49 dias; b) aos 77 dias; c) aos 112 dias	55
Figura 49 – Registo fotográfico do elemento 17B, do provete G1: a) aos 63 dias; b) aos 84 dias; c) aos 112 dias	55
Figura 50 – Registo fotográfico do elemento 17C, do provete G1: a) aos 56 dias; b) aos 84 dias; c) aos 112 dias	55
Figura 51 – Registo fotográfico do elemento 18A, do provete G1: a) aos 49 dias; b) aos 77 dias; c) aos 112 dias	56
Figura 52 – Registo fotográfico do elemento 18B, do provete G1: a) aos 77 dias; b) aos 91 dias; c) aos 112 dias	56
Figura 53 – Registo fotográfico do elemento 18C, do provete G1: a) aos 63 dias; b) aos 84 dias; c) aos 112 dias	56
Figura 54 – Aspeto dos esquemas 17 e 18 do provete de gesso cartonado normal, aos 140 dias de ensaio	57
Figura 55 – Análise quantitativa do crescimento fúngico no provete G1: a) elementos 17A, 17B e 17C; b) elementos 18A, 18B e 18C	58
Figura 56 – Registo fotográfico do elemento 19A, do provete G2: a) aos 35 dias; b) aos 70 dias; c) aos 112 dias	59
Figura 57 – Registo fotográfico do elemento 19B, do provete G2: a) aos 56 dias; b) aos 84 dias; c) aos 112 dias	60
Figura 58 – Registo fotográfico do elemento 19C, do provete G2: a) aos 56 dias; b) aos 84 dias; c) aos 112 dias	60
Figura 59 – Registo fotográfico do elemento 20A, do provete G2 a) aos 42 dias; b) aos 70 dias; c) aos 112 dias	60
Figura 60 – Registo fotográfico do elemento 20B, do provete G2: a) aos 70 dias; b) aos 91 dias; c) aos 112 dias	61
Figura 61 – Registo fotográfico do elemento 20C, do provete G2: a) aos 49 dias; b) aos 77 dias; c) aos 112 dias	61
Figura 62 – Aspeto dos esquemas 18 e 20 do provete de gesso cartonado hidrófugo, aos 140 dias de ensaio	62
Figura 63 – Aproximação ao elemento 20A, para observação de dois tipos de fungos.....	63
Figura 64 – Análise quantitativa do crescimento fúngico no provete G2: a) elementos 19A, 19B e 19C; b) elementos 20A, 20B e 20C	64
Figura 65 – Avaliação do crescimento fúngico no elemento 19A	65
Figura 66 – Registo fotográfico do esquema 1, do provete T1 aos 0 dias, 112 dias e 140 dias de ensaio: a) elemento 1A; b) elemento 1B; c) elemento 1C	66
Figura 67 – Registo fotográfico de um elemento do esquema 7: a) aos 0 dias; b) aos 140 dias.....	66

Figura 68 – Análise quantitativa do crescimento fúngico no esquema 1, do provete T1	67
Figura 69 – Registo fotográfico do esquema 9, do provete T2, aos 0 dias, 112 dias e 140 dias de ensaio: a) elemento 9A; b) elemento 9B; c) elemento 9C	68
Figura 70 – Registo fotográfico de um elemento do esquema 16: a) aos 0 dias; b) aos 140 dias.....	69
Figura 71 – Análise quantitativa do crescimento fúngico, no esquema 9 do provete T2	69
Figura 72 – Nº de UFC/cm ² aos 56 e 63 dias de manifestação fúngica nos esquemas 17 e 18 (provete G1), respetivamente	72
Figura 73 – Nº de UFC/cm ² aos 49 e 54 dias de manifestação fúngica nos esquemas 19 e 20 (provete G2), respetivamente).....	72
Figura 74 – Nº de UFC/cm ² ao dia médio de manifestação fúngica: a) esquema 1 do provete T1, aos 61 dias; b) esquema 9 do provete T2, aos 65 dias	73
Figura 75 – Crescimento de colónias de fungos no provete G1	74
Figura 76 – Área contaminada por fungos visíveis, em percentagem, no provete G1	74
Figura 77 – Crescimento de colónias de fungos no provete G2.....	75
Figura 78 – Área contaminada por fungos visíveis, em percentagem, no provete G2.....	75
Figura 79 – Evolução do número de colónias de fungos no provete T1.....	76
Figura 80 – Área contaminada por fungos visíveis, em percentagem, no esquema 1 do provete T1 .	77
Figura 81 – Evolução do número de colónias de fungos nos esquemas 2 ao 8 do provete T1	77
Figura 82 – Sistemas de pintura aplicados no provete T1	78
Figura 83 – Evolução do número de colónias de fungos do provete T2.....	79
Figura 84 – Área contaminada por fungos visíveis, em percentagem, no esquema 9 do provete T2 .	79
Figura 85 – Evolução do número de colónias de fungos nos esquemas 10 ao 16 do provete T2	80
Figura 86 – Sistemas de pintura aplicados no provete T2.....	80

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Índice da taxa de crescimento de bolores (adaptado de [26])	12
Tabela 2 – Características das tintas com função de primários	26
Tabela 3 – Características das tintas de acabamento	26
Tabela 4 – Combinação de primário e acabamento para cada esquema	27

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

A reabilitação e intervenção de edifícios antigos introduz nas construções envelhecidas novas técnicas e novos materiais, de forma a que certos requisitos sejam cumpridos, como a redução do consumo energético. Para tal, os edifícios são cada vez mais estanques, não havendo na maioria das vezes sistemas de ventilação adequados, o que provoca um aumento de humidade no interior dos edifícios.

Uma das patologias mais habituais nas superfícies interiores das paredes e dos tetos dos edifícios é o desenvolvimento de fungos, resultante da elevada humidade. Estes microrganismos prejudicam o bem-estar dos ocupantes, provocando desde reações alérgicas a infeções respiratórias mais graves. Para além disso, afetam os materiais de construção, uma vez que o seu desenvolvimento pode provocar destacamento de revestimentos e deterioração dos materiais, que resulta numa diminuição do desempenho. O desenvolvimento fúngico depende essencialmente da humidade, da temperatura e da quantidade de nutrientes. No entanto, parâmetros como o valor de pH e rugosidade das superfícies, a luz, o tempo de exposição e a própria espécie influenciam o crescimento de fungos [1].

Antigamente, como os edifícios eram menos estanques, existia uma contínua ventilação dos espaços. Para além disso, os materiais usados como revestimentos das paredes eram mais permeáveis, resultando assim numa secagem mais rápida das paredes. Nos edifícios a reabilitar, geralmente os revestimentos e rebocos das paredes são substituídos, uma vez que estão normalmente muito degradados. Preferencialmente devem ser utilizadas argamassas de reboco à base de cal ou bastardas (constituídas por cal e cimento) e sistemas de pintura constituídos por tintas minerais, como tintas de cal e silicatos. Ao garantir com estas soluções uma certa permeabilidade nos revestimentos utilizados, pretende-se que a água não fique retida nas paredes [2].

Desta forma, torna-se relevante compreender se estas soluções de pintura terão efeito inibidor no crescimento fúngico, e para além disso, se os tipos de tinta conjugados com determinados suportes têm um comportamento adequado.

Na reabilitação de edifícios antigos poderá ser adequado manter as paredes originais de tabique, substituindo apenas os rebocos e revestimentos. É também comum recorrer à utilização de gesso cartonado, normal e hidrófugo, uma vez que corresponde a uma solução leve e de fácil execução. Por esse motivo, é essencial saber qual o seu contributo para o desenvolvimento de fungos.

1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO

O presente trabalho pretende avaliar o desenvolvimento fúngico em diferentes suportes, com sistemas de pintura distintos. Os suportes em análise são paredes de tabique com argamassas de reboco de cal e bastardas, e ainda placas de gesso cartonado. Os sistemas de pintura avaliados, englobam tintas de cal, tintas de silicatos e tintas de emulsão aquosa com constituintes de natureza orgânica.

O objetivo principal do estudo desenvolvido é determinar, para cada um dos substratos, qual o sistema de pintura mais adequado para a inibição do desenvolvimento de fungos. De modo a ser possível cumprir o objetivo proposto, definiram-se várias tarefas e objetivos parciais:

- Adquirir conhecimentos acerca de fungos, assim como compreender os fatores favoráveis ao seu desenvolvimento, e as consequências desse desenvolvimento nos edifícios;
- Compreender os diferentes sistemas de pintura e o seu papel no crescimento de fungos nos edifícios;
- Avaliar o crescimento de fungos durante um ensaio em laboratório, através de contagem de colónias de fungos e inspeção visual;
- Definir os procedimentos para a análise quantitativa do crescimento de fungos detetado visualmente;
- Analisar de forma crítica os resultados, comparando as metodologias para avaliação do crescimento fúngico;
- Determinar quais as tintas com melhor desempenho na inibição dos fungos e as características mais condicionantes;
- Determinar qual o substrato com menores quantidades de fungos.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho encontra-se organizado em seis capítulos:

- O capítulo 1 introduz o tema, enquadrando-o e referindo os seus objetivos principais e parciais. Descreve ainda a organização e estrutura do trabalho.
- No capítulo 2 apresenta-se uma síntese do estado da arte relativamente a fungos nos edifícios, que inclui uma caracterização dos fungos, uma apresentação de alguns modelos desenvolvidos para previsão do seu crescimento e uma análise dos trabalhos desenvolvidos por outros autores. Contempla ainda uma abordagem a sistemas de pintura aplicados em paredes e tetos, que engloba uma caracterização das tintas utilizadas nos edifícios. Inclui também a análise de um trabalho desenvolvido por outros autores que avalia o comportamento de fungos em tintas com diferentes propriedades.
- O capítulo 3 descreve o ensaio realizado, incluindo informação sobre a preparação dos provetes e a caracterização dos sistemas de pinturas aplicados. Neste capítulo descreve-se também a inoculação dos provetes e o respetivo sistema de controlo. Definem-se ainda os procedimentos para avaliação do crescimento fúngico.
- No capítulo 4 são apresentados e analisados os resultados dos procedimentos desenvolvidos. Apresenta-se a evolução do crescimento fúngico, não visível e visível, em cada sistema de pintura durante o ensaio.

- O capítulo 5 apresenta quais os sistemas de pintura com melhor e pior desempenho na inibição fúngica, conforme o substrato onde estão aplicados. Analisam-se as tintas usadas em cada um dos sistemas de forma a averiguar que propriedades têm mais influência nos resultados.
- O capítulo 6 inclui as principais conclusões deste estudo e possíveis desenvolvimentos futuros.

2

ESTADO DA ARTE

2.1. FUNGOS NOS EDIFÍCIOS

2.1.1. GENERALIDADES

Em Portugal, seja em edifícios novos ou antigos é comum encontrar patologias resultantes da humidade [3]. A humidade no interior dos edifícios pode surgir por diferentes vias, nomeadamente através da água introduzida durante a construção e que não secou na totalidade, através da água proveniente do solo que sobe por capilaridade pelas paredes, através de fissuras que originam infiltrações, e ainda devido a condensações.

Apesar da evolução dos materiais utilizados assim como das técnicas aplicadas em obra, as patologias causadas pela humidade continuam a surgir, causando insatisfação nos utilizadores. Uma das patologias associadas à humidade mais frequente é o aparecimento de fungos, detetáveis a olho nu através de manchas de cor verde acinzentado ou castanha escura que se manifestam em paredes e tetos [4], como se pode observar na Figura 1. A humidade relativa aumenta nas superfícies que apresentam uma temperatura mais baixa, que pode resultar de pontes térmicas, e também da falta de ventilação adequada. Assim, essas patologias aparecem sobretudo, nos ângulos entre as paredes, nas zonas de ligação entre as paredes e tetos, em zonas de vigas ou pilares e ainda atrás de móveis [5].



Figura 1 – Desenvolvimento de fungos em paredes interiores [5]

Os fungos prejudicam a saúde dos ocupantes dos edifícios e danificam as superfícies dos elementos de construção, visto que podem penetrar o material até à profundidade de 10 mm [3] [6]. Entre os materiais

e produtos mais suscetíveis ao ataque dos fungos está a madeira e as tintas e vernizes, estes dois últimos dependentes do tipo de constituintes [7].

2.1.2. DEFINIÇÃO DE FUNGOS

No interior dos edifícios, os fungos com probabilidade de se manifestarem são, maioritariamente, bolores, não sendo excluída a possibilidade de se desenvolverem outro tipo de fungos. Os bolores são um tipo de fungo multicelular compostos por filamentos, designados por hifas. As hifas surgem após a reprodução assexuada dos esporos presentes na atmosfera (cerca de 10^5 esporos por metro cúbico) [4]. As hifas alongadas e ramificadas deste tipo de fungos, que formam o micélio, são responsáveis por libertar enzimas que fracionam a matéria orgânica presente no meio onde se fixam, por exemplo material de construção como a madeira, obtendo assim o alimento que necessitam por absorção direta.

O micélio é o único constituinte dos fungos filamentosos que se manifesta macroscopicamente. O tamanho do esporo fúngico normalmente varia entre 2 e 10 μm , havendo espécies em que atinge os 30 ou 100 μm [8]. Na Figura 2 pode-se observar a germinação do esporo, que assim forma o filamento individual de um fungo (hifa) e consequente micélio, evidenciando assim o seu crescimento. A concentração de esporos no ar interior dos edifícios é elevada [1] e, por isso, existe uma probabilidade significativa de crescimento dos fungos, caso condições propícias se verifiquem.

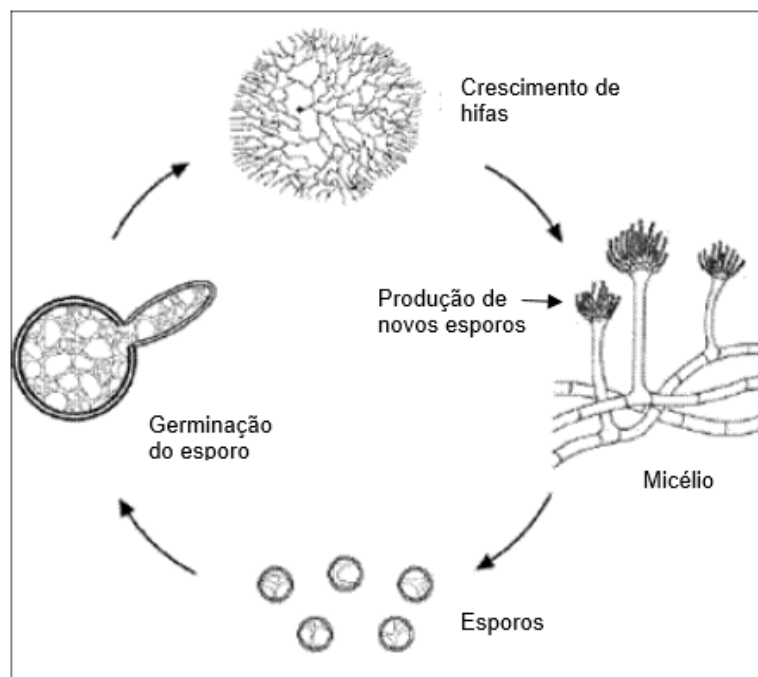


Figura 2 – Ciclo de vida dos fungos filamentosos (adaptado de [9])

2.1.3. FUNGOS MAIS COMUNS NOS EDIFÍCIOS

Estima-se que existam mais de 1,5 milhões de espécies de fungos, das quais apenas 60 000 estão identificadas [10]. No caso dos edifícios, foram encontradas mais de 200 espécies de fungos que podem ser responsáveis por diminuir a qualidade do ar interior [11]. Relativamente às mais comuns, não existe consenso entre as várias fontes, o que pode ser explicado pelos métodos de recolha utilizados, pela época

do ano em que foram realizadas as recolhas e pela localização e tipo do edifício [1]. Assim, compatibilizando a informação, os fungos mais comuns no interior dos edifícios são, designados por género¹ [4] [10][11][12][13]:

- *Aspergillus* – comum na maioria dos materiais, cresce sobretudo em zonas com poeiras.
- *Cladosporium* – as espécies que se desenvolvem no interior dos edifícios são diferentes daquelas que se podem encontrar no exterior, apesar do género ser o mesmo. Frequentemente crescem em madeira e materiais pintados, especialmente em casas de banho (justificado pela elevada humidade relativa).
- *Penicillium* – fungo com elevado número de espécies. Surge na maioria dos materiais, mas mais frequentemente em materiais à base de madeira.
- *Stachybotrys* – é raro encontrar-se fungos deste género no exterior, existindo apenas no interior dos edifícios, nomeadamente nos materiais de construção celulósicos, sob a forma de manchas pretas. Uma das suas características mais preocupante é o facto de representar perigo para a saúde humana, mesmo que o fungo se encontre morto.
- *Phoma* – produz nas paredes pintadas manchas com tonalidades de púrpura e surge, sobretudo, em madeiras e tintas.

2.1.4. CONDIÇÕES FAVORÁVEIS AO CRESCIMENTO DOS FUNGOS

2.1.4.1. Humidade

A humidade relativa é um dos fatores mais decisivos para o crescimento de fungos, uma vez que, para os fungos obterem alimento necessitam de uma certa quantidade de humidade [10]. Essa humidade está presente no ar e nos materiais de construção. Cada espécie pode ser caracterizada pela humidade relativa que requer para se desenvolver, sendo que esse valor pode ser ligeiramente diferente conforme a fase de crescimento² em que o microrganismo se encontra. Com base na humidade relativa requerida pelos fungos, normalmente expressa num intervalo de valores, existem várias designações para os fungos [9].

Para o desenvolvimento dos fungos a humidade relativa da superfície dos substratos deve estar compreendida entre 80% e 100%, sendo que em ambiente saturado (HR= 100%) é difícil a proliferação dos fungos, visto que poucos sobrevivem devido ao facto da água em estado líquido dissolver os nutrientes. De salientar que os fungos Xerophilic (Xerófilicos) são uma exceção, uma vez que se desenvolvem a menos de 80% de humidade relativa [1][10]. A Figura 3 mostra que o aumento da humidade relativa gera um aumento da probabilidade da formação e crescimento de fungos, mas que próximo dos 100% há um decaimento acentuado desse crescimento.

¹ Classificação científica: Reino, Classe, Ordem, Família, Género e Espécie.

² Fases de crescimento do fungo: germinação dos esporos e crescimento do micélio.

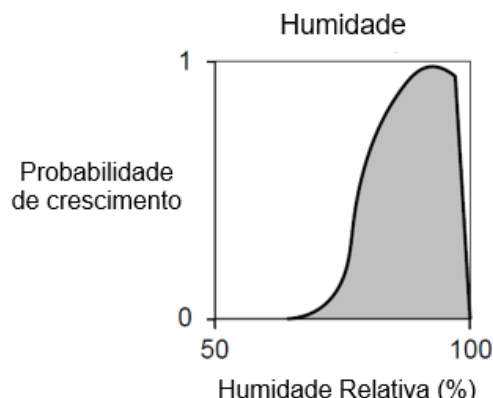


Figura 3 – Crescimento de fungos em função da umidade relativa (adaptado de [1])

2.1.4.2. Temperatura

As espécies de fungos que se podem encontrar no interior dos edifícios necessitam de uma temperatura mínima entre 5°C e 10°C, de forma a que ocorra germinação dos esporos e crescimento do micélio. A temperatura máxima é de 50°C, sendo que os esporos são mais resistentes a temperaturas elevadas que o micélio [4][14]. As condições de temperatura ideais situam-se entre os 20°C a 35°C, visto que o fungo apresenta um desenvolvimento mais acelerado neste intervalo quando comparado com temperaturas fora deste intervalo [10].

Na Figura 4 observa-se a variação da probabilidade de crescimento dos fungos em função de temperatura. Os fungos toleram mais facilmente o frio do que temperaturas muito elevadas, sendo que a maioria das espécies morrem aos 80°C. No interior dos edifícios a temperatura pode variar entre 5°C e 30°C, existindo assim temperaturas ideais para a formação de fungos [1]. Deve-se salientar que a temperatura mencionada se refere à temperatura da superfície do material onde os fungos crescem, como paredes, tetos, entre outros.

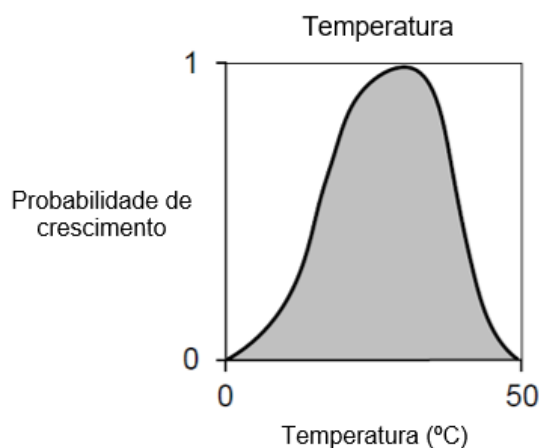


Figura 4 – Crescimento de fungos em função da temperatura, (adaptado de [1])

A Figura 5 mostra a relação entre a temperatura e a umidade para que existam condições favoráveis para que o fungo cresça. Fora desses limites os esporos podem sobreviver esperando que as condições sejam favoráveis à sua germinação [15].

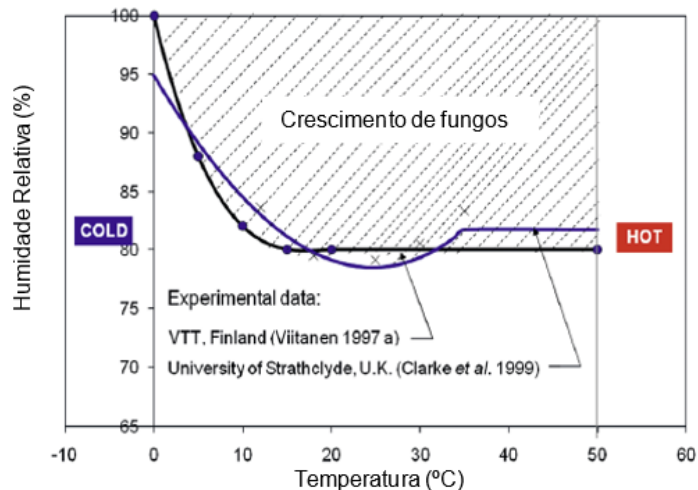


Figura 5 – Condições de crescimento de fungos em função da temperatura e umidade relativa (adaptado de [16])

2.1.4.3. Nutrientes presentes no substrato

A quantidade de nutrientes disponíveis nos substratos, ou seja, nos materiais em que os fungos crescem, é outro fator chave. Os fungos degradam os materiais para obterem alimento de forma a que as suas células se reproduzam. São organismos heterotróficos que dividem a matéria orgânica em moléculas orgânicas mais pequenas (açúcares, aminoácidos, vitaminas) que são posteriormente agrupadas de forma a servirem de alimento [14]. Os alimentos mais adequados para o desenvolvimento dos fungos são o açúcar, o amido e sais.

Materiais utilizados nos edifícios como o papel, a madeira, as colas e tintas têm incorporada matéria orgânica que constitui alimento dos fungos. No entanto, os fungos não proliferem apenas nestes materiais, visto que os locais onde se acumulem poeiras e sujidade são também uma fonte de alimento (superfícies rugosas têm mais probabilidade de acumular poeiras e sujidade) [17][18]. A porosidade dos materiais interfere na proliferação dos fungos, uma vez que os esporos e as hifas têm maior facilidade de acesso a alimentos em materiais de poros abertos. No entanto, estes materiais secam mais rapidamente privando os fungos de humidades relativas mais favoráveis [10][15].

A Figura 6 mostra que a probabilidade de crescimento de fungos aumenta à medida que a qualidade do substrato aumenta, ou seja, quanto maior o número de nutrientes que existem na superfície onde fungo se manifesta, mais hipóteses de sobrevivência e de crescimento este tem.

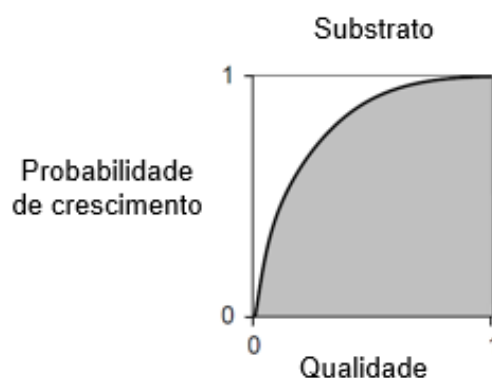


Figura 6 – Desenvolvimento de fungos em função da qualidade do substrato (adaptado de [1])

2.1.4.4. Outros fatores

Para além dos fatores já mencionados, existem outros parâmetros que condicionam o crescimento dos fungos. Em seguida, apresenta-se alguns deles:

- **Esporos no ar** – Os esporos são facilmente encontrados nos ambientes interiores, uma vez que têm uma elevada capacidade de produção e libertação de novos esporos. Os esporos podem entrar por portas e janelas abertas, por sistemas de aquecimento e ventilação ou ainda ser transportados para o interior dos edifícios através das pessoas, visto que se alojam na roupa e calçado. Uma vez no interior da habitação, proliferam quando encontrar um local que reunia as condições necessárias. As elevadas concentrações de esporos em edifícios são muitas vezes causadas pelo facto de os esporos se depositarem em com partículas de poeira e sujidade [10][14][18].
- **Oxigénio** – O oxigénio está sempre presente no interior dos edifícios, sendo necessário durante todo o crescimento fúngico, apesar de estes se poderem desenvolver mesmo quando são privados de oxigénio durante períodos curtos e espaçados de tempo [15].
- **Valor do pH das superfícies** – O intervalo de valores ideais de pH para o desenvolvimento dos fungos é entre 5 e 7. No entanto, a maioria das espécies crescem quando os valores estão compreendidos entre 3 e 9 de pH, com exceção de algumas espécies como a *Penicillium* que toleram valores de pH entre 2 e 11 [14]. Porém, os fungos são capazes de alterar o pH das superfícies devido à secreção de substâncias químicas muito ácidas, aquando o processo de degradação dos nutrientes, tornando assim o pH mais favorável ao seu desenvolvimento ao longo do tempo [9]. Como os fungos se mostram sensíveis à alcalinidade, por vezes, é utilizada cal em revestimentos antifúngicos, visto que tem um pH elevado e desta forma pretende-se controlar o seu crescimento [15].
- **Luz solar** – A maioria dos fungos crescem em ambientes escuros, não precisando da presença de luz. As radiações ultravioleta podem ser prejudiciais ao desenvolvimento fúngico, podendo mesmo causar a morte destes microrganismos se for muito intensa. Cada espécie tem exigências de luz diferentes para se desenvolver, não sendo possível afirmar que não há desenvolvimento de fungos na presença de luz solar [1][14][15].

2.1.5. MEDIDAS DE PREVENÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DE FUNGOS

Para prevenir o aparecimento de fungos no interior dos edifícios deve-se controlar os fatores anteriormente referidos. Em relação ao número de esporos, à quantidade e qualidade de nutrientes e ao oxigénio disponível no ambiente interior, poucas medidas poderão ser tomadas. Como um dos fatores fundamentais para o seu crescimento é a humidade, deve-se controlar os teores de humidade e assim condicionar o desenvolvimento fúngico nos edifícios.

A forma mais adequada para reduzir a humidade é promover a ventilação do ar dos espaços interiores, o que permite remover o excesso de vapor de água e secar as superfícies[4]. De acordo com Sedlbauer [1], prevê-se que as renovações do ar, por hora, dentro das habitações devam estar compreendidas entre $0,15h^{-1}$ a $0,7h^{-1}$, de forma a inibir a proliferação dos fungos.

Com o aumento da temperatura a humidade relativa decresce. Quando o aquecimento dos edifícios é realizado através de radiadores, a sua posição limita o local onde os fungos podem proliferar, (geralmente no canto mais afastado dos radiadores, pois será o local onde a temperatura é menor comparativamente com o resto do compartimento.) [1].

Para além do aumento da ventilação e da temperatura do ar interior, o aparecimento dos fungos pode ser evitado aumentando a entrada de luz solar nos compartimentos, reduzindo o risco de infiltrações e evitando a ocorrência de condensações superficiais e internas através da correção de pontes térmicas, aplicação de isolamento térmico nas paredes e coberturas e da redução do fluxo de vapor através dos elementos construtivos com a colocação adequada de barreiras pára-vapor [4].

2.1.6. CONSEQUÊNCIAS DO DESENVOLVIMENTO DE FUNGOS

A presença dos fungos no interior dos edifícios, nas superfícies dos elementos construtivos, para além de ser visualmente desagradável e produzir odores, afeta a saúde dos ocupantes. Os fungos não prejudicam de igual forma todos os utilizadores dos edifícios, sendo o seu efeito função das características da própria pessoa, mas também do tipo de fungo. O Homem adquire defesas diferentes consoante o meio em que se desenvolve e a sua suscetibilidade a determinadas situações varia com a idade, genética e estado de saúde [11][18].

A saúde dos utilizadores dos edifícios pode ser afetada pela inalação ou contacto dérmico com os esporos fúngicos. Os problemas de saúde mais comuns resultantes da exposição a concentrações elevadas de esporos são a asma, eczemas cutâneos e alergias respiratórias (manifestando-se por espirros e tosse) [19]. As alergias podem ser de diferentes tipos, conforme o tipo de contacto com os esporos e o tempo a que o indivíduo está exposto aos fungos. A exposição pode ser prolongada, quando existem fungos no local de trabalho ou se trabalha com materiais contaminados, pode ser acidental, devido a defeitos nas construções ou quando os esporos circulam nos sistemas de ventilação e/ou aquecimento, e pode ainda ser constante quando, por exemplo, existem fungos em ambiente doméstico [1].

A maioria das espécies de fungos provocam alergias. Fungos do género *Aspergillus* estão associados a asma extrínsecas (sintomas como edemas e broncospasmos) tal como os fungos do género *Cladosporium*. Os primeiros podem mesmo conduzir a casos de aspergilose pulmonar e os segundos a enfisema pulmonar, em situações crónicas. Relativamente a fungos do género *Stachybotrys*, produzem toxinas venenosas que, quando inaladas continuamente, causam dores de cabeça, fadiga, diarreias, perdas de cabelo localizada, entre outros [11].

É também frequente associar a existência de fungos à síndrome dos edifícios doentes (SBS – Sick Building Síndrome) e a doenças da construção (BRI- Building Related Illness). Estas designações aplicam-se quando os utilizadores apresentam sintomas como fraqueza, irritações nas mucosas, comichões nos olhos e dores de cabeça, após permanecerem por determinados períodos de tempo no interior dos edifícios, sem ser encontrada uma explicação para os sintomas descritos [1]. Uma explicação apontada como provável para estes sintomas é a quantidade de esporos presentes no ar interior dos edifícios [20].

No caso de não serem tomadas quaisquer medidas preventivas, ou sendo estas insuficientes, os fungos podem proliferar nas superfícies interiores do edifício, afetando grande parte dos materiais de construções. Mesmo naqueles que não possuem qualquer tipo de matéria orgânica pode ocorrer desenvolvimento de fungos, caso exista uma acumulação considerável de poeiras e sujidade. De referir que, o aparecimento de fungos é ele próprio um defeito de construção, que resulta ou de uma má conceção ou de uma deficiente execução [13].

Um dos materiais de construção mais suscetível ao ataque fúngico é a madeira, por ser um material higroscópico e orgânico. Na madeira seca artificialmente, que é submetida a altas temperaturas, o número de fungos que se desenvolve é superior ao que se verifica quando a madeira seca naturalmente, ao ar [21].

Quando as superfícies apresentam fungos, deve-se primeiramente pesquisar a causa do seu aparecimento. Em seguida, a área deve ser limpa, em alguns casos poderá mesmo ser necessário remover o revestimento de modo a evitar a emissão dos esporos que prejudicam a saúde dos ocupantes. A remoção e limpeza dos materiais afetados deve ser acompanhada de medidas de segurança de forma a que quem a realize não esteja demasiado exposto ao fungo. Os materiais mais porosos são os mais suscetíveis de infiltração de fungos e por isso não devem ser reutilizados, uma vez que podem estar contaminados ainda que não seja observável a olho nu [18].

2.1.7. MODELOS DESENVOLVIDOS PARA A PREVISÃO DO CRESCIMENTO DE FUNGOS

Existem vários modelos de previsão do crescimento dos fungos em materiais de construção. Um deles é o modelo desenvolvido por Viitanen [22], designado de VTT Model. Este modelo foi desenvolvido para madeiras (material muito sensível ao crescimento de fungos), tendo sido considerados como fatores preponderantes para o crescimento dos fungos a temperatura, a humidade relativa, o tempo de exposição e os períodos com condições desfavoráveis. O crescimento foi avaliado e quantificado através de inspeção visual da madeira após realização de ensaios em laboratório. Consoante a quantidade de fungos presentes na superfície, foi atribuído um índice (Mould Index), que varia entre 0 (sem esporos ativos) e 6 (superfície totalmente preenchida com fungos), como se pode observar na Tabela 1. Mais tarde, o modelo foi alargado a outros materiais de construção [23][24][25]. O Mould Index foi definido para várias espécies de fungos [26].

Tabela 1 – Índice da taxa de crescimento de bolores (adaptado de [26])

Índice	Taxa de Crescimento	Descrição
0	Sem crescimento	Esporos não ativos
1	Pequenas quantidades de bolor na superfície (microscópio)	Fases iniciais de crescimento
2	<10 % da superfície coberta com bolores (microscópio)	
3	10-30 % da superfície coberta com bolores (visual)	Novos esporos produzidos
4	30-70 % da superfície coberta com bolores (visual)	Crescimento moderado
5	>70 % da superfície coberta com bolores (visual)	Crescimento elevado
6	Cobertura da superfície em torno dos 100%	Crescimento muito elevado

2.1.7.1. Isopleth Models

O modelo isopleth é traduzido em curvas que definem as condições favoráveis para o crescimento de fungos. Os fatores condicionantes do crescimento do fungo considerados neste modelo são a temperatura, a humidade relativa e o tempo de exposição [25]. Os fungos que podem ser encontrados nos edifícios, dividem-se em seis categorias que agrupam fungos com requisitos de humidade relativa e temperatura (em ambientes interiores) semelhantes para crescerem. A categoria A corresponde a fungos que necessitam de humidades relativas baixas (altamente xerofílicos) e a categoria F àqueles que precisam de humidades relativas elevadas (altamente hidrofílicos). A cada categoria corresponde uma curva que traduz as condições mínimas de humidade relativa e temperatura para os quais ocorre crescimento do fungo, como mostra Figura 7 [27].

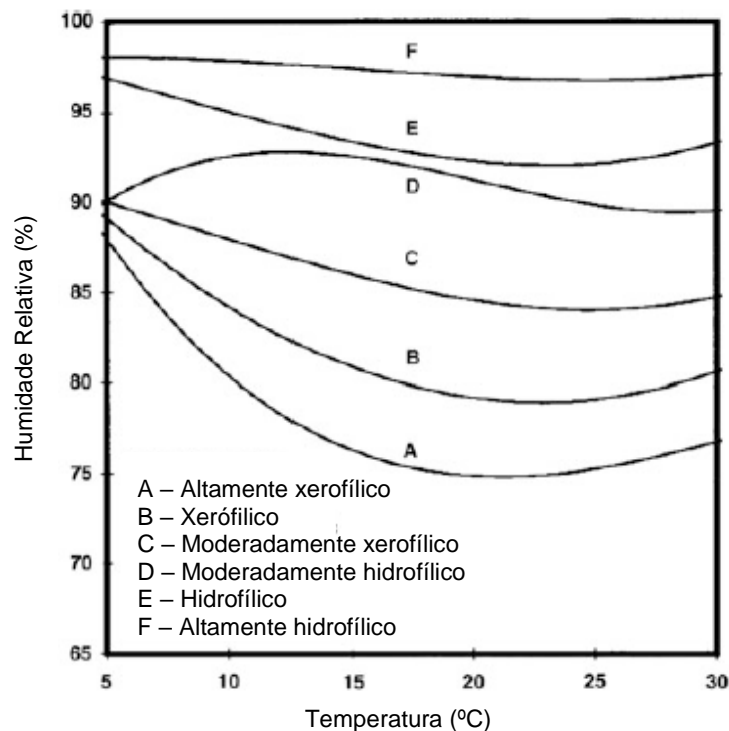


Figura 7 – Condições mínimas temperatura e umidade relativa, para seis categorias de fungos (adaptado de [25])

Nalguns destes modelos, as curvas isopleth foram definidas em função do tipo de fungos, considerando-se 3 classes em função dos riscos para a saúde dos utentes, e em função do tipo de substratos (onde os fungos se fixam), considerando-se 4 categorias de acordo com o tipo de alimento para os fungos. Assim, as espécies de fungos podem pertencer à classe A (representando fungos com elevado risco para a saúde, não devendo ocorrer nos edifícios), B (espécies que constituem perigo para a saúde dos utentes caso a exposição seja prolongada) ou C (espécies que não representam qualquer risco para a saúde dos ocupantes). Os substratos dividem-se em categoria de substrato 0, que representa um meio de cultura ótimo para os fungos, categoria de substrato I, que engloba todos os materiais de construção biologicamente recicláveis, como o papel de parede, cartão (gesso cartonado) e materiais feitos de matérias-primas biologicamente degradáveis, categoria de substrato II, constituída por materiais não considerados no grupo anterior, como certas madeiras e materiais de isolamento, e, por último, a categoria de substratos III, onde se inserem os materiais que não contêm nutrientes nem são degradáveis [25][28].

A Figura 8 representa um exemplo de curvas isopleth, em função da umidade relativa, da temperatura, para dois dos substratos anteriormente descritos. Na germinação dos esporos cada curva depende dos dias para a ocorrer germinação (Figura 8a), no crescimento do micélio cada isopleta corresponde a uma determinada taxa de crescimento (mm/d), (Figura 8b). A curva denominada de LIM (Lowest Isopleth for Mould), representada em todos os gráficos da Figura 8, estabelece o limite de condições mínimas para o desenvolvimento de fungos.

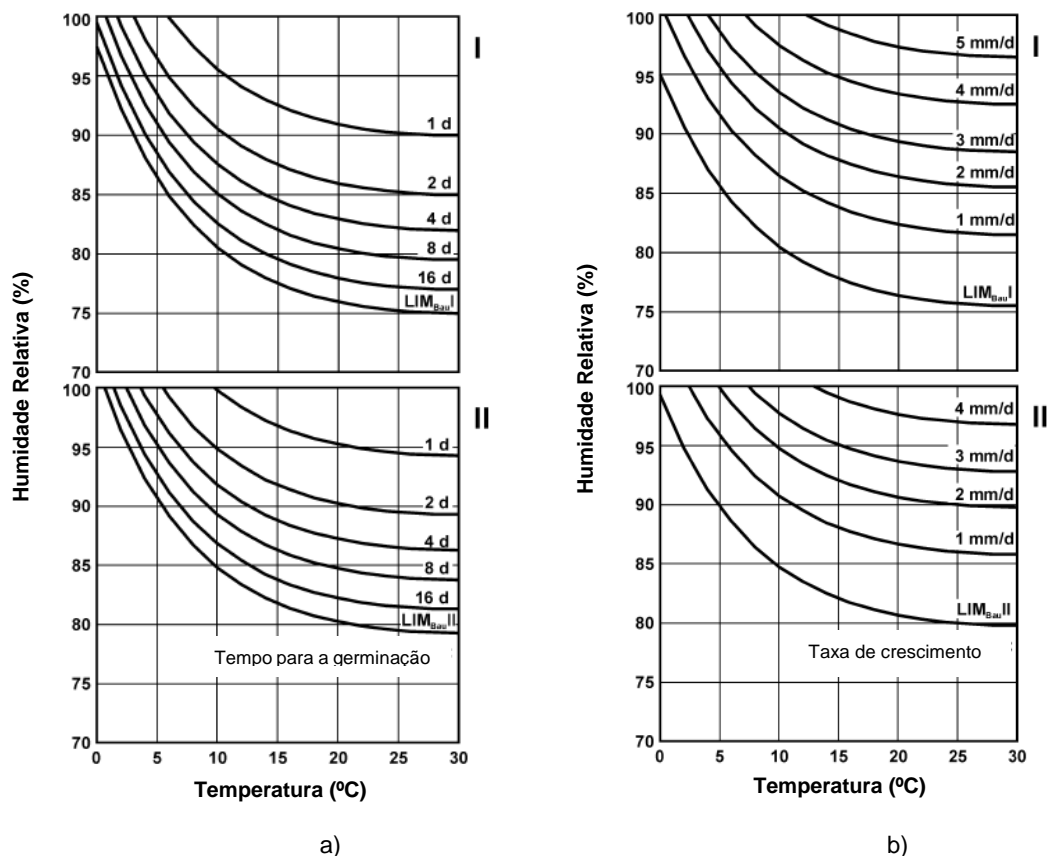


Figura 8 – Modelo de curvas isopleth, para fungos que se desenvolvem nos substratos I e II: a) germinação dos esporos; b) crescimento do micélio (adaptado de [1])

2.1.7.2. Biohygrothermal Model

O modelo Biohygrothermal, desenvolvido por Selbauer [29], baseia-se nos modelos das isopletras embora tenha em consideração os períodos de secagem, o que não acontecia nos anteriores. O principal objetivo do modelo é prever a humidade dentro do esporo para que este se possa desenvolver, considerando as condições de humidade e temperatura das superfícies onde se encontra. A germinação do esporo é a primeira fase para que os fungos se manifestem, e para que isso aconteça é necessário um mínimo de humidade relativa no interior do esporo. Os esporos dos fungos têm capacidade de absorver água, quer do ambiente, quer dos materiais de construção. Ocorre assim difusão de vapor de água até que seja alcançada a humidade mínima requerida para que o metabolismo biológico dos esporos se inicie [25][28]. A Figura 9 ilustra o princípio do desenvolvimento do modelo biohygrothermal.

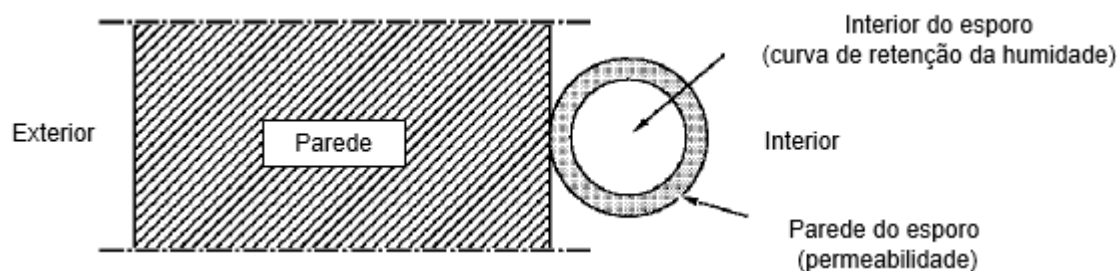


Figura 9 – Princípio do desenvolvimento do modelo biohigrotermal, parede com esporo fúngico (ampliado) (adaptado de [25])

2.1.8. TRABALHOS REALIZADOS

O VTT Model teve a sua origem em ensaios realizados em madeira. Para tal foram usadas duas espécies de madeira, pinheiro e abeto, que são sensíveis ao crescimento dos fungos [26][30].

Para que o modelo pudesse ser mais abrangente, foram posteriormente testados 7 materiais de construção, utilizando sempre como referência os resultados obtidos para a madeira. Os materiais testados foram poliuretano, lã de vidro, poliestireno, poliéster (materiais usados como isolamento) e ainda betão, betão leve e betão de argila expandida. Os materiais foram testados tanto em laboratório como em ambiente exterior, sujeitos a condições de temperatura constantes e variáveis. Antes dos ensaios, as extremidades das amostras foram inoculadas com esporos em suspensão por pulverização.

Em laboratório, os provetes foram colocados em câmaras climáticas em condições de temperaturas positivas de 22°C e 5°C, e temperaturas negativas de -5°C e -20°C. A humidade relativa, a que os provetes estiveram sujeitos, foi de 50%, 90%, 97% ou 98%. As amostras colocadas no exterior estiveram sujeitas às condições de humidade relativa e de temperatura do meio ambiente, tendo sido mantidas protegidas da chuva e da neve. Uma parte dos materiais foi colocada seca e outra molhada. A duração deste ensaio foi de 2 anos e o controlo do crescimento de fungos realizou-se a cada 2-3 meses[31].

Relativamente aos ensaios realizados em laboratório, ocorreu crescimento de fungos em todos os materiais que estavam sujeitos à temperatura de 22°C e humidade relativa de 97%. Os tipos de fungos encontrados foram, maioritariamente, *Penicillium* e *Aspergillus*. A madeira foi o material que apresentou um maior índice de crescimento. A proliferação dos fungos foi maior na superfície que foi pulverizada. Para condições de humidade relativa de 90%, nos betões não houve crescimento de fungos, enquanto que nos materiais à base de madeira existiu crescimento, embora mais demorado e em menor quantidade do que para as condições ambiente anteriores. Verificou-se uma grande alteração no caso das amostras de madeira de abeto, com a diminuição da humidade relativa. A Figura 10 mostra os resultados dos ensaios em algum dos materiais, perante condições distintas. Nos ensaios realizados no exterior, o crescimento foi detetado pela primeira vez cinco meses após o início do ensaio. Os índices mais elevados foram verificados no revestimento de poliuretano e na madeira [32][33].

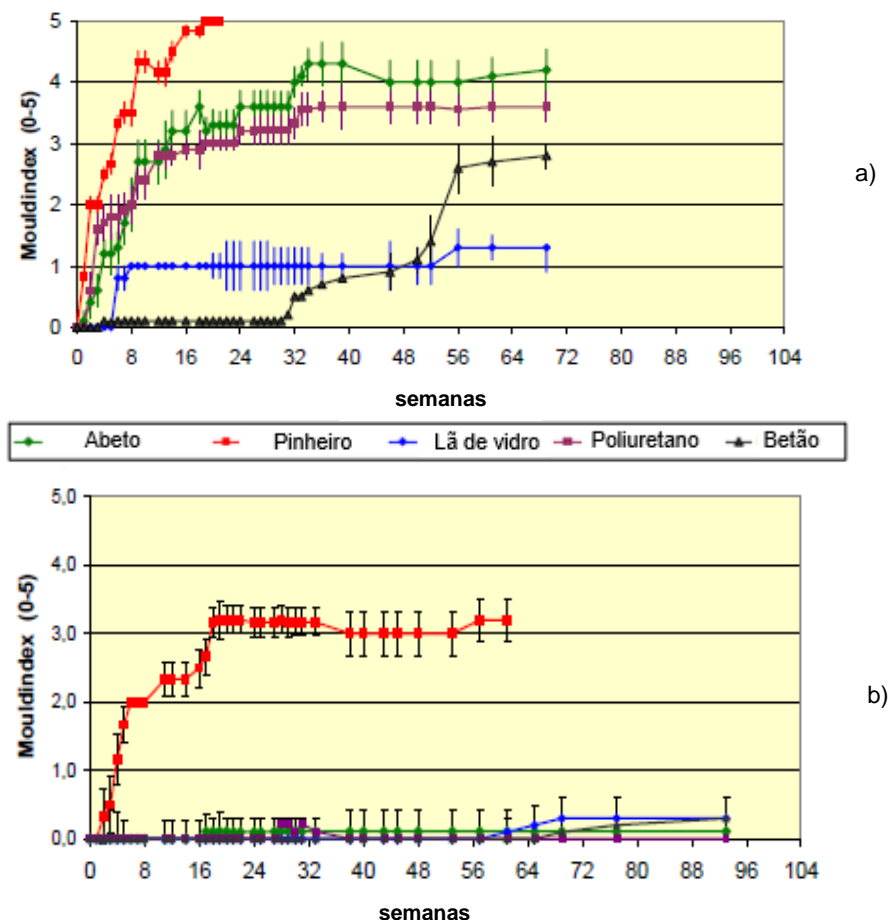


Figura 10 – Crescimento de fungos em diferentes amostras com inoculação: a) condições de 97% de HR e 22°C de temperatura; b) condições de 90% de HR e 22°C de temperatura (adaptado de [33])

De forma a avaliar o crescimento de fungos nos materiais de construção, desenvolveu-se um estudo em 21 amostras em condições de humidade e temperatura variáveis. Não foi aplicado qualquer tipo de fungicida nas amostras de madeira, gesso, papel e betão. A inoculação das amostras foi realizada através do contacto da superfície da amostra com um cotonete previamente contaminado (com uma cultura de 16 espécies de fungos). As amostras estiveram sujeitas a condições variáveis de temperatura e humidade durante 19 meses, sendo que para cada temperatura foram considerados três valores distintos de humidade relativa. O crescimento dos fungos foi avaliado através de inspeção visual em fotografias e pela observação ao microscópio após 7, 14 e 28 dias. Com base nos resultados obtidos verificou-se que para a mesma temperatura e para o mesmo período de tempo, uma amostra do mesmo material apresentava uma maior área de fungos na sua superfície para humidades relativas mais elevadas. A madeira representava o material em que a superfície afetada era mais abrangente, no entanto o seu máximo apenas era atingido ao fim de várias semanas [34].

Para avaliar a deterioração causada pelos fungos de materiais inorgânicos foi desenvolvido um ensaio laboratorial com a duração de três meses. Nesse ensaio foi comparado os efeitos do desenvolvimento de três espécies de fungos em provetes de base cimentícia. Os materiais à base de cimento são, geralmente, materiais porosos, o que constitui uma mais valia para os fungos se fixarem ao substrato através das suas hifas, e podem ainda conter adjuvantes orgânicos que servem de alimento para os fungos.

O cimento utilizado no estudo foi o cimento Portland Branco com a relação de água/cimento de 0,55. Os provetes tinham a forma de paralelepípedos ($1 \times 2,5 \times 8,5$ cm). Para que o estudo se realizasse em apenas três meses foi imposta a carbonatação dos provetes durante 48 horas, ou a carbonatação seguida de lixiviação³ durante 48 horas e 28 dias, respetivamente. As amostras foram colocadas em caixas de polietileno a 26° C depois de inoculadas. Cada espécie foi inoculada seis vezes (duas em provetes sem alteração, duas em provetes que sofreram carbonatação e duas nos provetes que foram sujeitos a carbonatação e lixiviação).

Verificou-se o aparecimento de fungos em alguns dos provetes carbonatados, enquanto que nos provetes carbonatos e lixiviados o aparecimento de fungos aconteceu em todos eles e em maiores quantidades. Um dos provetes de cada par foi destruído sendo possível observar a penetração das hifas dos fungos nos substratos [35].

De acordo com Johansson [36], o crescimento de fungos em condições reais difere muito quando comparado com estudos realizados em laboratório. As maiores diferenças ocorrem no número de espécies, na quantidade de esporos, nas condições de temperatura e humidade relativa e na duração de exposição. Em condições reais o número de espécies é maior, a quantidade de esporos é desconhecida e variável, a temperatura e humidade relativa sofrem mais oscilações e o tempo de exposição é muito maior.

Haas et al [37] avaliaram o crescimento de fungos in situ. Foram consideradas habitações sem e com manifestação de fungos nas superfícies interiores, num total de 66. Para além do registo da humidade relativa e da temperatura interiores e exteriores, durante a inspeção às habitações, foram ainda consideradas as condições da habitação, os materiais de construção e os defeitos e danos estruturais. Foram também identificadas as espécies de fungos para determinar quais as mais frequentes. Os autores verificaram que, nas estações quentes, as concentrações de fungos (esporos) no ambiente interior tendiam a ser menores que no exterior. Nas estações frias ocorreu o inverso, uma vez que as habitações são menos ventiladas.

Das 66 habitações em análise, 29 não apresentavam manifestação de fungos, 18 apresentavam pequenas manchas nas superfícies, 13 em que a manifestação de fungos não excedia 1 m² e 6 com áreas afetadas superiores. Quanto à concentração de esporos era muito mais elevada no interior das habitações em que existia crescimento de fungos. Os tipos de fungos encontrados em maiores quantidades foram *Penicillium*, *Aspergillus* e *Cladosporium*, tendo sido o primeiro o mais frequente no interior das casas. Já no exterior, o que existia mais correntemente era o terceiro. A variedade de espécies de fungos foi maior nas habitações sem fungos visíveis do que naquelas em que existia crescimento de fungos. Em relação às paredes interiores, apresentavam mais fungos aquelas que eram revestidas a tinta do que aquelas que tinham apenas reboco mineral [37].

2.2. TINTAS APLICADAS EM PAREDES E TETOS

2.2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os fungos no interior dos edifícios manifestam-se sobretudo em paredes e tetos e, por isso, é essencial ter-se conhecimentos sobre os materiais e produtos usados nestes elementos construtivos. De uma maneira geral, as paredes e tetos têm como produto de revestimento final as tintas. Assim, e por serem um produto complexo, torna-se imprescindível entender a sua composição, propriedades e características para que sejam empregues, na construção, de forma adequada.

³ Lixiviação: dissolução e transporte de cal hidratada.

As tintas foram evoluindo ao longo dos tempos, com o objetivo de cumprirem as exigências legais (reduzir constituintes nocivos para a saúde dos utilizadores) e aumentar a variedade de produtos [38]. Usualmente, a tinta antes de ser aplicada está na forma líquida, mas também pode estar sob a forma de pó [39].

Na construção as tintas são aplicadas para desempenharem diversas funções: (a) Função protetora, pois aumenta a resistência aos agentes externos (ar, água, líquidos orgânicos e líquidos ácidos ou alcalinos); (b) Função decorativa; (c) Função higiênica, porque reduz a rugosidade das superfícies, diminuindo assim a quantidade de sujidade e poeiras que se alojam na parede [40].

O sistema de pintura, normalmente, é realizado em duas camadas, o primário e o acabamento, cada uma com a sua função. A aplicação de várias camadas permite desalinhar os respetivos poros, dificultando assim o acesso da água ao substrato [40].

Os primários correspondem à primeira camada aplicada sobre o substrato (primeira demão). Devem proporcionar uma boa adesão à base e conferir uma superfície em que as camadas seguintes possam também aderir de forma conveniente. Para isso deve ser considerado o tipo de substrato e a finalidade pretendida quando se seleciona o primário. Os primários aplicados, por exemplo, em rebocos e estuques devem resistir à ação química dos sais alcalinos e ainda impedir que eles ataquem as camadas subseqüentes. Quando os substratos são porosos, o primário deve tapar os poros de forma a regularizar a superfície para as camadas seguintes.

Os acabamentos representam a última camada a aplicar na superfície, determinando a aparência final da parede. Existem diversos tipos de acabamentos, de várias cores, texturas e níveis de brilho [41].

2.2.2. CONSTITUIÇÃO DE TINTAS

Designa-se por tinta, qualquer material de consistência líquida que depois de aplicado sobre uma superfície endurece e seca, formando assim uma película opaca, coerente, aderente e colorida. Formam uma tinta líquida os seguintes componentes básicos: veículo fixo (ou ligante), solvente (ou veículo volátil), pigmentos e aditivos [40] [42].

O veículo fixo ou ligante é responsável por garantir a coesão entre as partículas sólidas e entre elas e a superfície sobre qual a tinta é aplicada, determinando assim o seu comportamento quanto à elasticidade, durabilidade, brilho, resistência química (ácidos e bases) e resistência a raios UV, por exemplo.

Geralmente o ligante é constituído por um ou mais tipos de sintéticas (resinas acrílicas, resinas epoxídicas, resinas vinílicas), sendo as mais utilizadas pela consistência de propriedades. Poderão também, ser utilizados ligantes de resinas naturais em percentagens menores. Muitas vezes a designação da tinta está associada ao nome da resina utilizada [40] [43].

Os solventes constituem a parte volátil da tinta, que evapora para permitir a sua secagem. São geralmente substâncias líquidas adicionadas à formulação da tinta, onde as partículas ficam dissolvidas ou dispersas. Os diluentes, são também líquidos adicionados às tintas, que não tendo o poder de solvência, reduzem a viscosidade da mistura de forma a facilitar a aplicação desta sobre a superfície[44] [45].

Os pigmentos são partículas sólidas de pequenas dimensões, orgânicas ou inorgânicas, que são insolúveis no veículo fixo (ligante). São os únicos responsáveis pela cor e opacidade da tinta. A cor de um pigmento é influenciada pela sua estrutura química que, devido à absorção de luz, emite cor. A opacidade é determinada pela refração da luz [38][41]. Propriedades como a resistência às intempéries, a facilidade de dispersão e o brilho das tintas são influenciadas pela dimensão e distribuição das partículas

sólidas (pigmentos) na mistura. Agregados de partículas mais complexas e de maiores dimensões conduzem a um acabamento menos brilhante [44].

Existem ainda nos constituintes da tinta partículas sólidas que não conferem cor nem opacidade designadas por cargas. Estas aumentam a densidade da tinta a um custo menos elevado e interferem em características como o brilho, a resistência à abrasão, a durabilidade e flexibilidade. Tal como os pigmentos, as cargas podem ser de origem natural ou sintética. Uma das cargas que era vulgarmente utilizada é o óxido de zinco, visto que inibia o desenvolvimento de fungos e prevenia a corrosão [39].

Atualmente o seu uso é cada vez mais reduzido, devido ao grau de perigosidade que apresenta no âmbito da Legislação Segurança e Ambiente.

Compostos que são adicionadas às tintas em pequenas concentrações para lhe conferir uma determinada característica (quer na tinta líquida, quer na película seca), designam-se por aditivos. Estes são classificados conforme o fim a que se destinam. Alguns dos aditivos mais utilizados são [40][44][46]:

- Secantes – reduzem o tempo de secagem.
- Dispersantes – quando o material está armazenado, diminui a tendência de sedimentação dos pigmentos.
- Anti-peles – durante o armazenamento da tinta por longos períodos de tempo, evitam a formação de “peles” na superfície da tinta.
- Plastificantes – melhoram a flexibilidade da película seca da tinta.
- Biocidas – bactericidas que protegem a tinta no estado líquido.
- Fungicidas/Algicidas – proteção do filme seco da tinta, prevenindo o crescimento de microrganismos.
- Agentes tixotrópicos – são normalmente silicatos orgânicos de baixo peso molecular que evitam o escoamento da tinta nas superfícies verticais.
- Reguladores de pH – permitem conferir à tinta o pH pretendido, normalmente superior a 8. O desempenho de outros constituintes da tinta depende do pH do meio.

Nas tintas a mistura do pigmento, ligante, solvente e eventuais aditivos acontece em proporções variáveis dependendo do fim a que se destinam.

2.2.3. CLASSIFICAÇÃO DAS TINTAS

As tintas podem ser classificadas de modos diferentes, com base na natureza química do solvente ou do ligante. A classificação pode ainda ter origem no processo de cura da tinta que pode ser realizado somente por secagem física (evaporação da parte volátil da mistura) ou por reação química (fase de secagem física seguida de reação química) [44]. Quanto aos graus de brilho da tinta, estes podem ser mate (fosco), acetinado ou brilhante, variando conforme a quantidade de ligante, pigmentos e de cargas.

As tintas de cal, surgem de novo na construção devido à reabilitação de edifícios antigos, uma vez que é fundamental que os revestimentos aplicados se adequem aos tipos de substratos encontrados. Para suportes constituídos por rebocos à base de cal, nem todos os tipos de tintas são compatíveis, visto que quando existe formação de película a humidade fica retida no interior da parede [47].

As tintas de cal utilizam cal aérea, bem apagada, com possível adição de pigmentos e adjuvantes. Dá-se preferência ao uso de cal em pasta, uma vez que garante uma melhor aderência ao suporte e maior durabilidade. A tinta de cal apresenta valores de permeabilidade ao vapor de água muito semelhantes aos do suporte [48][49]. As superfícies pintadas com tintas de cal apresentam um aspeto mate (ou fosco).

Atualmente, as tintas de silicato são compostas por água, cargas (calcite, caulino, etc.), pigmentos inorgânicos e ligantes, inorgânicos, geralmente, o silicato de potássio e orgânico (polímero ou emulsão acrílica). Este último, segundo a norma DIN 18363, deve ser limitado a um máximo de 5% da mistura, de forma a que a tinta se mantenha inorgânica [49]. Esta tinta é utilizada em edifícios antigos, visto que é compatível com argamassas de cal, petrificando-se com o substrato, sem que ocorra formação de película. Desta forma, não reduz significativamente a permeabilidade ao vapor de água, permitindo a secagem da parede [2]. Tem ainda a grande vantagem de ser resistente a microrganismos, como é o caso dos fungos, devido à sua natureza inorgânica [44].

Estudos realizados a quatro tipos de tintas diferentes, mostram que um sistema de pintura (primário e acabamento) à base de silicatos, apenas supera a resistência à difusão do vapor de água de uma argamassa de cal em 10% a 20% [50].

Tendo em linha de conta a evolução da legislação ambiental, nomeadamente o Dec. Lei alusivo aos compostos orgânicos voláteis, as tintas de base aquosa são cada vez mais utilizadas. Os ligantes estão dispersos ou suspensos em água. O uso da água no fabrico de tintas tem a vantagem de ter um baixo custo e não representar qualquer tipo de poluição para o ambiente. O seu maior inconveniente é ter o ponto de fusão a 0°C (risco de congelação em climas frios) [41][44].

As tintas aquosas podem ser de natureza acrílica, vinílicas e estireno- acrílicas são classificadas como tintas aquosas. A denominação da tinta depende, neste caso, do tipo de ligante utilizado. As tintas acrílicas têm na sua constituição ligantes acrílicos, normalmente na forma de copolímeros. As tintas de base aquosa acrílicas são ideais tanto para primários como para acabamentos, originando superfícies pintadas com excelente cor e brilho. São tintas em que a secagem é realizada através da evaporação do solvente sendo, por isso, relativamente rápida. São ainda caracterizadas pela sua boa resistência à água e à radiação UV [41][51][52]. Ligantes como copolímeros estireno-acrílicos são usados na formulação de primários e de tintas exteriores. Geralmente originam tintas que absorvem bem a água, resistentes à alcalinidade. São pouco resistentes a raios UV, provocando o amarelecimento do revestimento ao longo do tempo. As tintas vinílicas são constituídas por ligantes à base de copolímeros vinílicos, contendo mais que um tipo de monómeros. Podem ser aplicadas no interior ou exterior, dando ainda origem a tintas texturadas [53]. Estas tintas formam película depois de secas, aderindo superficialmente ao suporte, apresentando, assim, maior poder de cobertura [54].

Na maioria dos casos, as tintas de emulsão aquosa podem ter componentes biodegradáveis que possibilitam o desenvolvimento fúngico neste tipo de revestimentos. Os microrganismos em tintas aquosas com níveis de humidade adequados são capazes de se alimentarem, produzindo enzimas ácidas que degradam a película da tinta. O desempenho do revestimento fica comprometido, uma vez que os níveis de pH baixam e perdem adesão à superfície [55].

2.2.4. CARACTERÍSTICAS DAS TINTAS

A tinta, depois de aplicada numa determinada superfície e seca, forma uma película, que consoante o pretendido, pode ser mais ou menos porosa, mais ou menos permeável ao vapor de água, ter diferentes durezas e graus de brilho variáveis.

A concentração volumétrica de pigmentos (PVC, do inglês Pigment Volume Concentration) numa tinta é um dos parâmetros mais importante para a caracterizar. Representa a proporção, expressa em percentagem, do volume de pigmentos (V_P em m^3) e do volume de cargas (V_c em m^3) no volume total de substâncias não voláteis de uma tinta, ou seja, volume de pigmentos, cargas e ligantes (V_L em m^3), (1) [40].

$$PVC = \frac{Vp + Vc}{Vp + Vc + VL} \times 100 \quad (1)$$

Quanto maior for a PVC, menor será a quantidade de ligante da mistura, ou seja, o ligante será insuficiente para preencher os vazios entre as partículas de pigmento e cargas, formando uma película de tinta porosa. As tintas com ligantes orgânicos com valores de PVC baixos, apresentam maiores quantidades de ligantes, o que significa que a quantidade de matéria orgânica na mistura é também maior. Assim, a probabilidade de crescimento de fungos aumenta, uma vez que há mais nutrientes disponíveis. A concentração de pigmentos tem influência em propriedades como o brilho, a permeabilidade o empolamento e a ferrugem da película seca da tinta, como mostra a Figura 11 [40]. Para que as tintas obtenham um nível de cobertura razoável o valor da PVC tem de ser pelo menos de 5%.

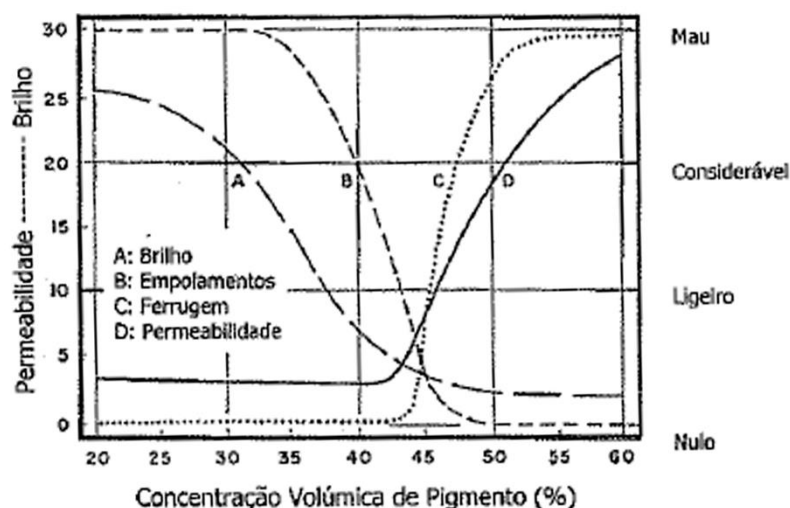


Figura 11 – Influência da PVC nas propriedades da película da tinta [40]

Em tintas com maior permeabilidade, que corresponde a percentagens de PVC superiores (Figura 11), como é o caso das tintas de cal e silicatos, a secagem da parede é realizada mais rapidamente, evitando que esta atinja valores de humidade elevados, reduzindo a probabilidade de desenvolvimento fúngico.

A concentração volumétrica de pigmentos crítica (CPVC) ocorre quando os vazios entre as partículas sólidas são preenchidos apenas por ligante. Acima desta concentração crítica as partículas de pigmentos e cargas ficam mais afastadas entre si e as propriedades da tinta alteram-se [44].

Relativamente ao brilho, as tintas são consideradas brilhantes quando o valor de PVC não excede os 20% [44]. Há medida que se aumenta a quantidade de pigmento na formulação, o PVC também toma valores mais elevados e o brilho da tinta diminui (Figura 11). Desta forma, tintas com menos pigmento originam películas secas brilhantes e lisas, enquanto que tintas com maiores quantidades de pigmento caracterizam-se por dar à superfície um acabamento mais irregular e fosco (ou mate) [43].

Os compostos orgânicos voláteis (COV) estão presentes nas tintas e a sua emissão para o ambiente depende dos substratos onde são aplicadas [56]. A libertação dos COV tem consequências ambientais e na qualidade do ar interior, variando em função da sua capacidade de evaporação (solventes lentos e solventes de evaporação rápida). Pode dar a origem a queixas dos ocupantes relacionadas com odores, sintomas de alergia, vertigens e dores de cabeça [57].

Estes componentes são sobretudo encontrados em tintas de base solvente, visto que são estas as misturas que contêm mais solventes orgânicos. Solventes como acetonas, álcoois e hidrocarbonetos reagem com a luz solar e outros gases na atmosfera, durante a sua evaporação para formação da película seca da tinta, originando ozono entre outros poluentes do ar. De forma a minimizar os impactos ambientais devido à emissão de COV, foram impostos limites à sua quantidade na composição das tintas. A redução das quantidades de COV tanto nas tintas de base solvente como nas de base aquosa (apesar destas terem emissões muito menores destes componentes) passa pela utilização de um volume elevado de pigmentos de baixa densidade e diminuição da quantidade de solventes fortes [58].

2.2.5. TINTAS E O DESENVOLVIMENTO DE FUNGOS

Os componentes de uma tinta podem servir de alimento aos fungos. Portanto, as tintas, quer no seu estado líquido ou sólido (seca), são suscetíveis ao desenvolvimento de fungos, quando estão perante condições de humidade relativa e temperatura potenciadoras. Após a ocorrência de fungos nas superfícies pintadas, as funções da tinta ficam comprometidas. E, por isso, torna-se fundamental que os fabricantes de tintas adotem medidas preventivas contra o aparecimento de microrganismos. A prevenção é conseguida com a adição à composição da tinta de biocidas, conhecidos por antifúngicos, que através do contacto químico com o fungo se pretende que o destruam ou controlem.

No entanto, as tintas providas destes inibidores não estão completamente livres do aparecimento e desenvolvimento dos fungos. Para avaliar o desempenho das tintas, Bach e Rangel [59] realizaram ensaios laboratoriais em que os fungos isolados provenientes de paredes pintadas foram inoculados em vários meios. Um dos meios funcionava como controlo, sendo um meio favorável ao desenvolvimento dos fungos, um segundo meio, caracterizava-se por ter sido adicionada tinta, um terceiro meio correspondia a meio mais fungicidas e por último, um meio com tinta e fungicidas. Depois dos meios inoculados serem mantidos a 25°C durante 10 dias (até ser observado desenvolvimento fúngico) realizou-se a contagem de esporos e a sua identificação, com auxílio do microscópico.

O tipo de fungo *Aspergillus* foi o mais frequente. Os resultados mostraram também que, no meio com tinta comparativamente ao meio de controlo, a quantidade de esporos era maior, o que indica que no primeiro meio havia mais nutrientes disponíveis para o desenvolvimento de fungos. Comparando os resultados entre o meio com tinta e o meio com tinta mais fungicidas, verificou-se uma diminuição do crescimento fúngico. Contudo, alguns dos ensaios indicaram diminuições pouco significativas, concluindo-se que as quantidades de fungicidas não foram suficientes para inibir de forma eficaz o desenvolvimento de fungos [59].

3 METODOLOGIA

3.1. ENQUADRAMENTO

A inibição do desenvolvimento de fungos nos elementos de construção pode ser conseguida através da aplicação de determinados sistemas de pintura. Na presente dissertação, pretende-se avaliar o crescimento de fungos em dois tipos de substratos, com sistemas de pintura desenvolvidos pela Robbialac (TINTAS ROBBIALAC S.A), comparando assim o desempenho relativamente à resistência a microrganismos.

A necessidade de um estudo relacionado com a seleção de tintas a aplicar em substratos utilizados na reabilitação de edifícios, surge pelo aumento crescente de obras de reabilitação em que os componentes originais se mantêm.

Os substratos testados neste trabalho correspondem a uma parede de tabique e a placas de gesso cartonado (normal e hidrófugo). A parede de tabique foi extraída de um edifício localizado no centro histórico de Viseu, sendo que representa uma das soluções estruturais mais encontrada em paredes interiores de edifícios antigos. O estudo às placas de gesso cartonado é relevante, uma vez que este material é muito utilizado nas intervenções realizadas.

Nos substratos mencionados, avaliou-se o desenvolvimento fúngico, estando os provetes sujeitos a condições de temperatura e humidade relativa constantes. A análise do crescimento efetuou-se através de contagem de colónias de fungos e inspeção visual.

3.2. PREPARAÇÃO DOS PROVETES

3.2.1. PAREDES DE TABIQUE

Os provetes de tabique foram extraídos de um edifício localizado no centro histórico de Viseu. Após a limpeza da argamassa original, selecionaram-se duas argamassas diferentes para aplicar. Na Figura 12 apresentam-se as curvas granulométricas das areias usadas na constituição das argamassas, sendo que a areia grossa (Figura 12a) foi usada nas camadas interiores da parede de tabique e a areia fina (Figura 12b) na camada de superfície.

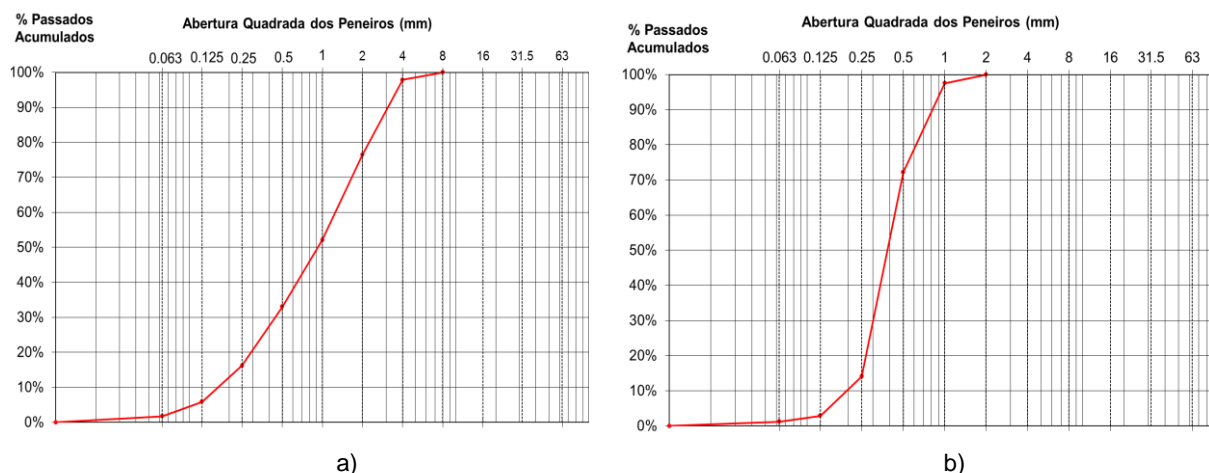


Figura 12 – Curvas granulométricas da areia utilizada no fabrico das argamassas a) areia fina; b) areia grossa

Uma das argamassas, designada de argamassa R1 com um traço 1:3 (cal:areia), foi aplicada na parede T1, com um comprimento de 1,22 metros e uma altura de 0,45 metros. A outra, denominada de argamassa R2, com um traço 1:3:12 (cimento:cal:areia), foi aplicada na parede T2, com um comprimento de 1,20 metros e uma altura de 0,42 metros. A cal utilizada em ambas as argamassas foi cal hidratada ou apagada e o cimento, usado apenas na argamassa R2, foi cimento Portland de calcário (CEM II/B-L 32,5N). A Figura 13 mostra as fases de construção dos provetes.

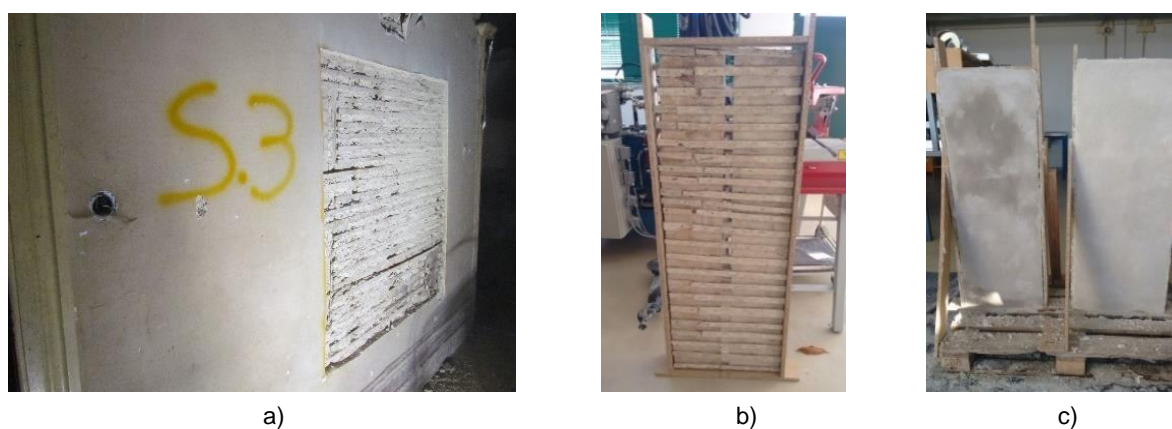
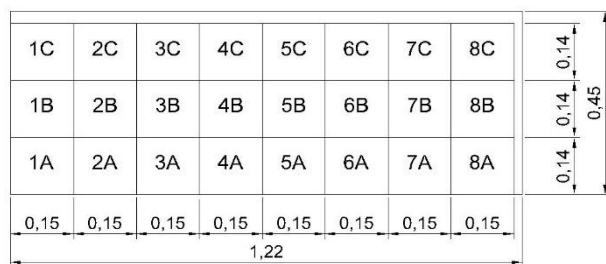


Figura 13 – Fases de construção dos provetes de tabique: a) recolha in-situ; b) estrutura de madeira antes da aplicação da argamassa; c) após aplicação da argamassa

Após a aplicação e secagem das argamassas, realizaram-se cortes verticais e horizontais, nas duas faces de cada parede, de forma a limitar a área de cada elemento a analisar ($0,15 \times 0,14$ cm). Os cortes, com 3 cm de profundidade e 2 mm de espessura, destinaram-se à colocação de chapas de zinco entre os vários elementos. Essas chapas metálicas tiveram como função impedir que os resultados obtidos em cada elemento sejam influenciados pelas faces adjacentes. Em cada uma das faces da parede, obteve-se uma malha de 3×8 elementos, num total de 24, alinhados nas duas faces. A cada um dos elementos foi atribuído um código composto por um número (1 a 16), correspondente à coluna, e letra (A, B, C), correspondente a cada linha. A Figura 14 mostra a parede T1 e a Figura 15 a parede T2, com os respetivos elementos e dimensões (em metros).

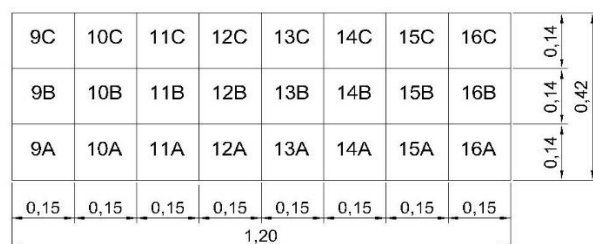


a)



b)

Figura 14 – Parede 1 (argamassa de cal): a) esquema da parede; b) parede após aplicação de argamassa e realização de cortes



a)

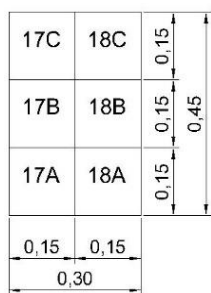


b)

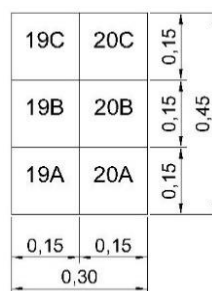
Figura 15 – Parede 2 (argamassa bastarda): a) esquema da parede b) parede após aplicação de argamassa e realização de cortes

3.2.2. GESSO CARTONADO

De modo a estender o estudo a outros materiais de construção, o gesso cartonado foi também contemplado nos ensaios. Foram ensaiadas duas placas de gesso cartonado, com 30 centímetros de comprimento e 45 centímetros de altura, sendo uma de gesso cartonado normal (G1) e a outra de gesso cartonado hidrófugo (G2). Tal como nas paredes, nas placas de gesso cartonado executaram-se cortes de forma a dividir cada uma das faces das placas em 6 elementos. Na Figura 16 apresenta-se os esquemas e as respetivas placas de gesso cartonado testadas.



a)



b)

Figura 16 – Gesso cartonado (esquema e placa após realização cortes): a) gesso cartonado normal; b) gesso cartonado hidrófugo

3.2.3. SISTEMAS DE PINTURA

A pintura dos materiais em estudo foi executada em duas camadas, ou seja, o primário e o acabamento. Para a primeira camada (primário) selecionaram-se quatro tintas, especificadas na Tabela 2. Para o acabamento, utilizaram-se cinco tintas, detalhadas na Tabela 3. As tintas selecionadas apresentam todas a classe A⁺, na qualidade do ar interior, tendo sido fornecidas e aplicadas pela Robbialac (TINTAS ROBBIALAC S.A.).

Tabela 2 – Características das tintas com função de primários

Designação	Tinta A	Tinta B	Tinta C	Tinta D
Aplicação	Primário			
Tipo	Regularizador	Consolidante	Opacificante	Anti-fungos
Substrato	Cal	Reboco	Reboco	Reboco
Natureza	Acrílica	Silicato de Potássio	Acrílica	Acrílica
pH	>12	>12	8 - 9	8 - 9
Proteção Fúngica	Baixa	Baixa	Média	Alta

Tabela 3 – Características das tintas de acabamento

Designação	Tinta E	Tinta F	Tinta G	Tinta H	Tinta I
Aplicação	Acabamento liso				
Tipo	Interior/ Exterior	Interior/ Exterior	Interior	Interior/ Exterior	Interior
Substrato	Cal	Reboco	Reboco	Reboco	Reboco
Natureza	Cal apagada	Silicato de Potássio	Vinílica	Estireno-acrílica	Estireno-acrílica
pH	>12	>12	8-9	8-9	8-9
Proteção Fúngica	Baixa	Média	Média	Baixa	Alta
Brilho	Mate	Mate	Acetinado	Mate	Acetinado
PVC (%)	50-80	50-80	20-30	70-80	25-35
Permeabilidade ao vapor de água	Alta	Alta	Média	Alta	Média

De acordo com as tintas selecionadas, realizaram-se combinações entre os primários e os acabamentos de forma a obter sistemas de pintura distintos. No caso das paredes de tabique, executaram-se oito esquemas diferentes em cada uma delas. No gesso cartonado, apenas foram testados dois sistemas de pintura. A Tabela 4 indica o primário e o acabamento utilizados, sendo que os esquemas de 1 a 8 são referentes à parede T1 (Figura 14), os esquemas de 9 a 16 à parede T2 (Figura 15), os esquemas 17 e 18 ao provete de gesso cartonado normal, e os esquemas 19 e 20 ao gesso cartonado hidrófugo, (Figura 16).

Tabela 4 – Combinação de primário e acabamento para cada esquema

Esquema	Substrato	Primário	Acabamento	Espessura de película seca de tinta, total (µm)	Cor
1	Argamassa R1	Tinta A	Tinta E	121	Branco
2	Argamassa R1	Tinta B	Tinta F	112	
3	Argamassa R1	Tinta C	Tinta G	63	
4	Argamassa R1	Tinta C	Tinta H	64	
5	Argamassa R1	Tinta C	Tinta I	63	
6	Argamassa R1	Tinta D	Tinta G	63	
7	Argamassa R1	Tinta D	Tinta H	64	
8	Argamassa R1	Tinta D	Tinta I	63	
9	Argamassa R2	Tinta A	Tinta E	121	Branco
10	Argamassa R2	Tinta B	Tinta F	112	
11	Argamassa R2	Tinta C	Tinta G	63	
12	Argamassa R2	Tinta C	Tinta H	64	
13	Argamassa R2	Tinta C	Tinta I	63	
14	Argamassa R2	Tinta D	Tinta G	63	
15	Argamassa R2	Tinta D	Tinta H	64	
16	Argamassa R2	Tinta D	Tinta I	63	
17	Gesso cartonado G1	Tinta D	Tinta H	64	Branco
18	Gesso cartonado G1	Tinta D	Tinta I	63	
19	Gesso cartonado G2	Tinta D	Tinta H	64	Branco
20	Gesso cartonado G2	Tinta D	Tinta I	63	

A aplicação das tintas foi efetuada com uma trincha, sendo que algumas das chapas verticais foram utilizadas de modo a facilitar o processo. A Figura 17 mostra os provetes (de tabique e de gesso cartonado) após a pintura. Durante os três dias de pintura dos provetes, as condições médias de temperatura e humidade relativa no local de aplicação foram de 11°C e 57%, respetivamente. Relativamente às condições ambiente durante o processo de secagem das tintas foram, em média, 12°C (temperatura) e 78% (humidade relativa).

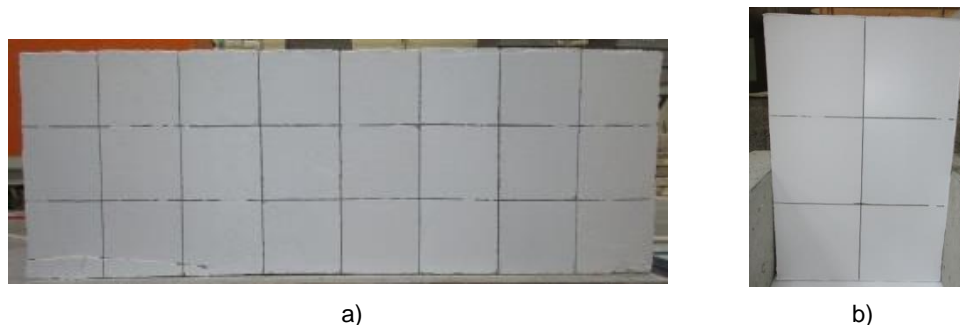


Figura 17 – Provetes após pintura: a) provete de tabique; b) provete de gesso cartonado

3.3. PREPARAÇÃO DO ENSAIO

3.3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para que o ensaio permitisse a obtenção de resultados num período de tempo compatível com a realização da presente dissertação, colocaram-se os provetes numa câmara climática, garantindo assim condições de temperatura e humidade relativa favoráveis à proliferação de fungos. As condições estabeleceram-se nos 22°C de temperatura e nos 90% de humidade relativa, sendo constantes ao longo de todo o ensaio.

A câmara climática disponível para a realização do ensaio, com uma área de 1,92 m², limitou a posição das paredes de tabique (T1 e T2) e das placas de gesso cartonado (G1 e G2) no seu interior. Para a disposição dos provetes, foi ainda considerado o facto de haver necessidade de aceder ao espaço para a obtenção de resultados. A Figura 18 esquematiza a posição de cada um dos provetes no interior da câmara climática.

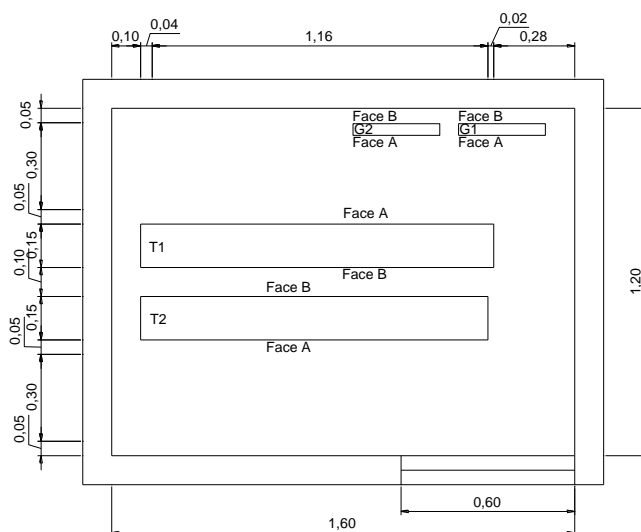


Figura 18 – Disposição dos provetes na câmara climática, (dimensões em metros)

Antes da colocação dos provetes nos respetivos lugares, assinalados previamente com marcações auxiliares, garantiu-se que a câmara climática se encontrava limpa e desinfetada, para que os resultados obtidos não fossem influenciados. A Figura 19a mostra os provetes, devidamente identificados com o número de cada esquema, e com as chapas metálicas colocadas, no interior da câmara climática nas condições anteriormente definidas (Figura 19b).

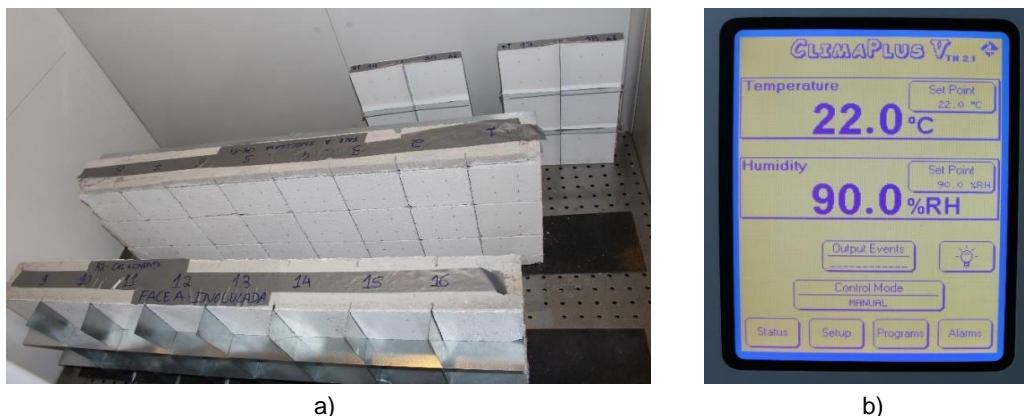


Figura 19 – Condições do ensaio: a) localização dos provetes (T1, T2, G1 e G2) no interior da câmara climática; b) condições de temperatura e humidade relativa

3.3.2. INOCULAÇÃO DOS PROVETES

Apesar das condições de humidade relativa e temperatura no interior da câmara climática, serem favoráveis ao desenvolvimento fúngico, com a aplicação de tintas dotadas de resistência ao mesmo, a manifestação destes microrganismos em tempo útil podia estar inviabilizada. Desta forma, para que fosse possível a avaliação do desenvolvimento fúngico, procedeu-se à inoculação dos provetes, ou seja, contaminação das amostras.

Anteriormente à inoculação dos provetes, realizou-se a recolha de uma amostra de fungos, existentes numa parede interior de um edifício. A amostra foi adquirida percorrendo com uma zaragatoa uma determinada área da superfície da parede contaminada, como mostra Figura 20a. A partir dessa amostra, com o isolamento e crescimento das colónias de fungos (Figura 20b), através de vários processos biológicos, foi criada pelo Laboratório de Biologia, associado ao Departamento de Ambiente, da ESTGV (Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu), uma suspensão de esporos com a concentração adequada para a inoculação dos provetes, neste caso com tipo de fungos *Penicillium*.



Figura 20 – Procedimento para inoculação dos provetes: a) recolha, com contacto de zaragatoa na área contaminada; b) isolamento e crescimento das colónias de fungos

A inoculação efetuou-se apenas numa das faces de cada provete, distinguindo-se assim a face A, inoculada, da face B, não inoculada. No total, inocularam-se 60 elementos (24 de cada uma das paredes, T1 e T2, e 6 de cada uma das placas de gesso cartonado, G1 e G2). Cada uma das faces dos elementos foi pulverizada 32 vezes com o líquido que continha os esporos dos fungos, garantido a transferência de cerca de 0,5 mililitros para cada um dos elementos, necessários para que ficassem contaminados.

A Figura 21 mostra o nebulizador estéril usado como pulverizador. A inoculação dos provetes aconteceu já no interior da câmara climática, com todas as chapas colocadas, de forma a evitar a transferência do líquido (de suspensão de esporos) entre os elementos.



Figura 21 – Nebulizador estéril para pulverização dos elementos dos provetes

3.3.3. SISTEMA DE CONTROLO

Em simultâneo com a inoculação dos provetes, criou-se o sistema de controlo, constituído por três fragmentos de algodão puro com o objetivo de validar as condições de temperatura e humidade relativa definidas. Escolheu-se o algodão para material de controlo, por ser um meio propício à proliferação de fungos. Os fragmentos de algodão, depois de inoculados de forma idêntica à anteriormente descrita, foram colocados na câmara climática, associando cada um deles aos provetes em estudo.

Como as placas de gesso cartonado têm menores dimensões, colocou-se junto destas apenas um dos fragmentos de algodão (AG), enquanto que próximo dos provetes de tabique instalaram-se dois fragmentos (AT1 e AT2), como demonstra a Figura 22.

Ao fim de sete dias, já era visível nos algodões o desenvolvimento fúngico, concluindo-se que as condições de temperatura e humidade relativa adotadas (22°C e 90 %) eram favoráveis ao crescimento de fungos. A Figura 23 exhibe os algodões, sete dias após a inoculação. Apesar de não ser detetável pela observação da Figura 23, verificou-se que o fragmento de algodão associado aos provetes de gesso cartonado (AG) aparentava uma maior quantidade de fungos comparativamente com os outros fragmentos.

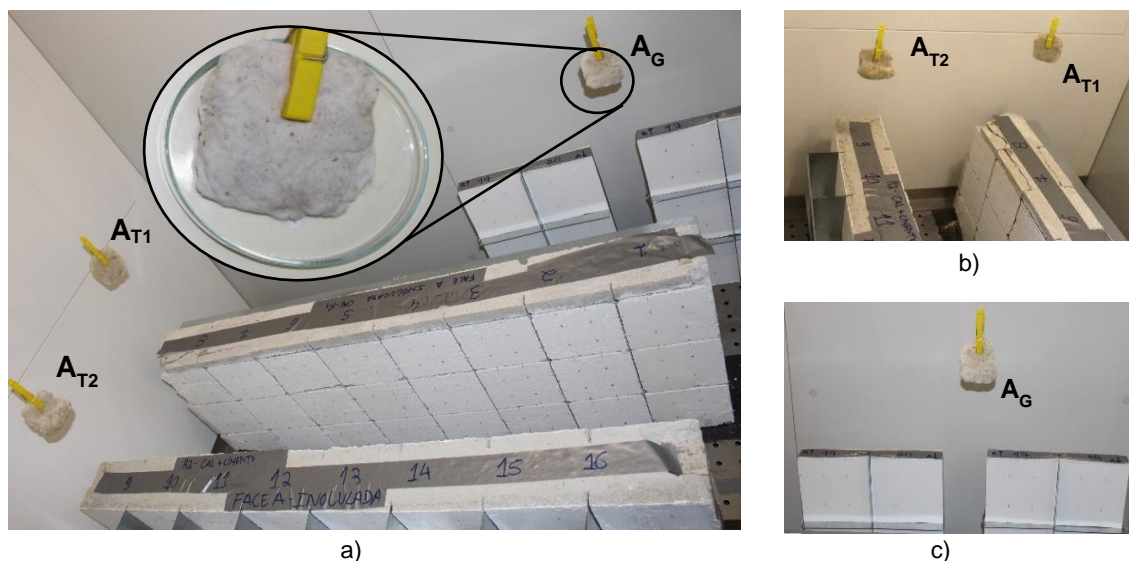


Figura 22 – Sistema de controlo: a) fragmentos de algodão no interior da câmara climática; b) fragmentos associados aos provetes de tabique; c) fragmento associado aos provetes de gesso cartonado

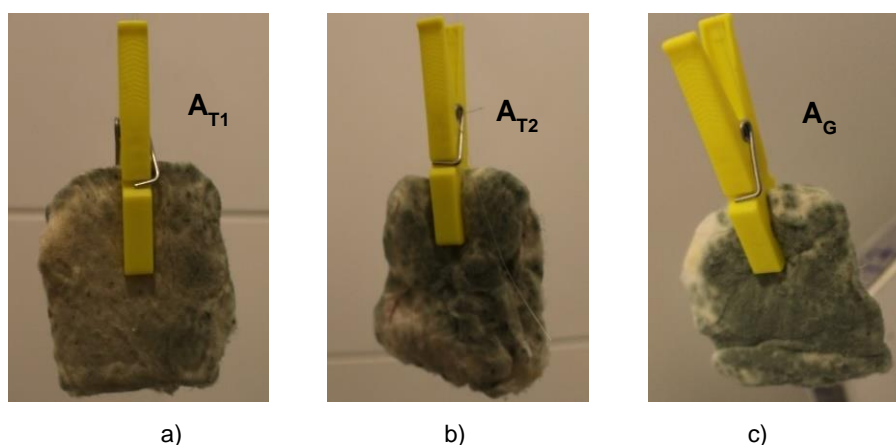


Figura 23 – Fragmentos de algodão, sete dias após a inoculação: a) associado à parede T1 (A_{T1}); b) associado à parede T2 (A_{T2}); c) associado ao gesso cartonado (A_G).

3.4. PROCEDIMENTOS PARA AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DE FUNGOS

Definiram-se duas metodologias para avaliar o crescimento de fungos: (a) Procedimento I, que consiste na contagem do número de unidades formadoras de colónias (UFC); (b) Procedimento II que, através do registo fotográfico, abrange a inspeção visual (Proc. II.1), e a análise quantitativa de fungos (Proc. II.2) na superfície de cada elemento dos provetes.

3.4.1. PROCEDIMENTO I – CONTAGEM DE UFC

Com esta metodologia, pretende-se obter o número de unidades formadoras de colónias de fungos, sendo que o processo de contagem é assegurado pelo Laboratório de Biologia, associado ao Departamento de Ambiente, da ESTGV (Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu). Realizaram-se seis recolhas de amostras de fungos, nomeadamente 14, 28, 56, 84, 112 e 140 dias após a inoculação dos provetes.

Para isso, cada elemento foi subdividido em sete zonas, seis para a colheita (com uma área de 20cm²) e a restante para a análise fotográfica. A Figura 24 mostra um dos elementos dos provetes com as marcações e o esquema com a numeração das seis recolhas. No momento da inoculação, as marcações já tinham sido executadas.

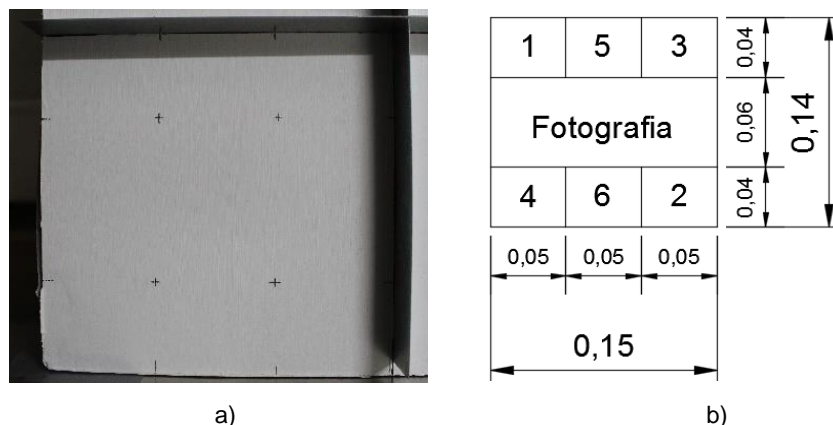


Figura 24 – Delimitação das zonas: a) elemento do provete (padrão); b) esquema com indicação da ordem das recolhas

Cada recolha consistiu em contaminar uma zaragatoa, percorrendo a zona correspondente, colocando-a em seguida numa solução de sais. As zaragatoas foram previamente identificadas, com o dia e indicação do elemento, com a distinção da face (por exemplo, 1A; 21/02/2017; 1ª Recolha para faces inoculadas e 1A_0;21/02/2017; 1ª Recolha para faces não inoculadas). Assim, em cada colheita recolhem-se 120 amostras no total, transportadas posteriormente para o laboratório em condições de assepsia⁴ a 4°C. A contagem das UFC ocorre 7 dias após a recolha, sendo que durante esse período, as amostras permanecem incubadas a uma temperatura de 27°C. A Figura 25 mostra as zaragatoas utilizadas numa das recolhas efetuadas.



Figura 25 – Zaragatoas antes da recolha efetuada nos elementos dos provetes

⁴ Assepsia: Conjunto de procedimentos que impedem a introdução de seres patogénicos.

As contagens são realizadas por visualização direta, contando o número de colônias de fungos presentes em cada caixa de petri⁵, relativa a determinado elemento do ensaio, após transferir o conteúdo das zargatoas para as mesmas. O sucesso da aplicação do método de contagem depende da quantidade de fungos que se desenvolvem nessa mesma caixa de petri, sendo as contagens relativas ao número de microrganismos vivos, ou seja, àqueles que se desenvolvem.

Em algumas situações as contagens são realizadas sem dificuldades. Noutras em que o desenvolvimento de fungos é mais acentuado e homogêneo, apenas é obtido um valor aproximado, através do método do quadrante (caixa dividida em 4 partes, com contagem do número de colônias numa das partes e o número obtido é multiplicado por 4). Pode ainda ocorrer uma terceira situação em que a caixa está completamente colmatada de fungos, não sendo possível a aplicação de nenhum dos métodos inumerados anteriormente. Nessas situações são realizadas diluições, com o objetivo de se obterem resultados aproximados para o número de UFC presentes no respetivo elemento em análise. Caso as diluições efetuadas não sejam suficientes, e não se consiga obter nenhuma das duas primeiras situações descritas, o valor de UFC é indeterminado. A Figura 26 demonstra um exemplo das situações descritas anteriormente.

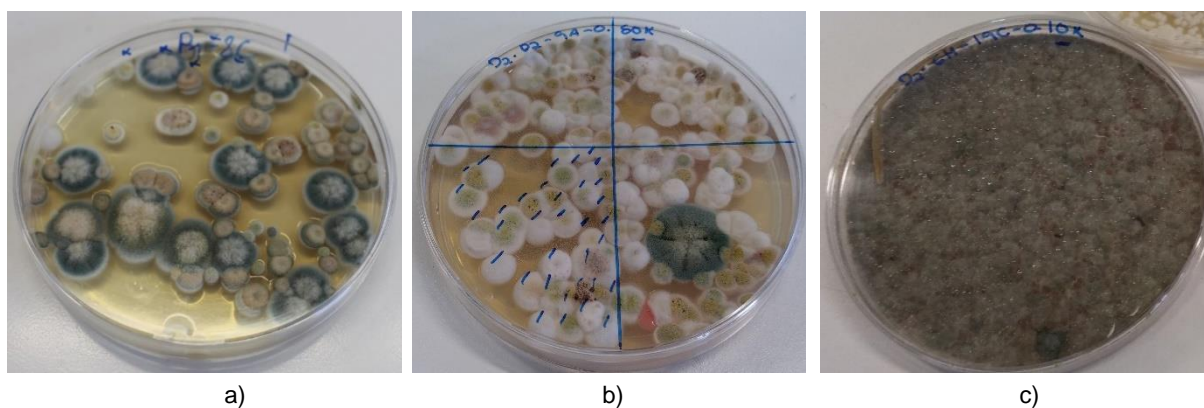


Figura 26 – Caixas de petri para contagem do número de UFC: a) contagem simples; b) método do quadrante; c) impossibilidade de contagem, após diluição

3.4.2. PROCEDIMENTO II – INSPEÇÃO VISUAL E ANÁLISE QUANTITATIVA

A inspeção visual do crescimento dos fungos realizou-se através do registo fotográfico. De salientar que, embora as contagens de UFC indiquem presença de fungos, estes podem ainda não ser observáveis a olho nu. O registo aconteceu todas as semanas, durante todo o ensaio, para que fosse possível observar a evolução de fungos na superfície dos provetes. A partir das fotografias procedeu-se também a uma análise quantitativa dos resultados.

3.4.2.1. Procedimento II.1

Devido às limitações da câmara climática, apenas se fotografaram as faces inoculadas (faces A) de cada um dos provetes. Pelo mesmo motivo, os provetes de gesso cartonado (G1 e G2) eram retirados do interior da câmara climática para a uma bancada no exterior, para poderem ser fotografados.

⁵ Caixa de petri: Recipientes de material plástico ou de vidro com tampa para armazenamento do meio de cultura e desenvolvimento de microrganismos.

De forma a garantir conformidade no processo fotográfico em todos os registos, assinalaram-se previamente os locais dos provetes G1 e G2 (na bancada) e dos suportes da máquina fotográfica, no interior da câmara climática.

Em cada registo semanal, tiraram-se fotografias em modo de flash desligado, a cada um dos elementos dos provetes. Nos dias das recolhas de fungos, o registo fotográfico antecedeu a execução das mesmas. Todas as semanas, o registo fotográfico realizou-se da mesma forma, cumprindo as marcações prévias e mantendo a ordem pela qual os elementos eram fotografados. Durante todo o processo, utilizaram-se luvas, máscara e bata, minimizando o risco de contaminação. A câmara climática manteve-se fechada sempre que possível para que os resultados não fossem afetados.

3.4.2.2. Procedimento II.2

Com base nas fotografias, criou-se uma metodologia com o objetivo de quantificar o número de pixéis negros em cada uma delas, considerando apenas a zona central do elemento (Figura 24). Um pixel representa a menor unidade da imagem e contém informação acerca da sua cor. Geralmente, o sistema de cor em máquinas fotográficas digitais é o RGB, constituído por três canais de cor: vermelho (Red), verde (Green) e azul (Blue). Cada um dos três canais pode variar em 256 tons, do 0 (mais escuro) ao 255 (mais claro), dando origem a milhares de combinações possíveis, justificando o elevado número de cores existentes.

Com o desenvolvimento dos fungos e crescente manifestação dos mesmos na superfície, espera-se que o número de pixéis negros, em cada fotografia, aumente. Através dessa contabilização, pretendeu-se quantificar, semanalmente, o aumento de área afetada em cada elemento do provete.

A metodologia consistiu, inicialmente, em recortar cada uma das fotografias originais e transformá-las numa escala de cinzentos. Para o mesmo elemento, as dimensões da área recortada mantiveram-se fixas de modo a atingir valores comparáveis. Em imagens que estão numa escala de cinzentos, os canais RGB assumem todos o mesmo valor, variando assim desde a cor branca (R = 255; G = 255; B = 255), à cor preta (R = 0; G = 0; B = 0), como ilustra a Figura 27.

RGB (255, 255, 255)	RGB (224, 224, 224)	RGB (192, 192, 192)	RGB (160, 160, 160)	RGB (128, 128, 128)	RGB (96, 96, 96)	RGB (64, 64, 64)	RGB (32, 32, 32)	RGB (0, 0, 0)
---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	------------------	------------------	------------------	---------------

Figura 27 – Escala de cinzentos, com o sistema de cor RGB caracterizado

Posteriormente, utilizou-se o programa *ImageMagick*, vulgarmente utilizado para o tratamento de imagens, de forma a extrair o número de pixéis por cada cor, em cada imagem. O programa *ImageMagick* é acedido através da linha de comandos, digitando o código correspondente ao que se pretende. Neste caso, o código é *magick convert (imagem) %c histogram:info: *.txt*, obtendo-se, desta forma, o histograma da imagem, em formato de texto (*.txt). O histograma, caracteriza cada imagem, indicando o número de pixéis de cada cor na imagem.

3.4.2.3. Procedimento II.2.1

Para confirmar a aplicabilidade desta metodologia e posteriormente selecionar qual o limite mais adequado, aplicou-se a metodologia a diferentes elementos dos provetes de gesso cartonado, onde a presença de fungos já era visível. A Figura 28 mostra a evolução do número de pixéis pretos, considerando três limites RGB: RGB (32, 32, 32), RGB (64, 64, 64) e RGB (96, 96, 96) em dois dos elementos dos

provetes de gesso cartonado, normal e hidrófugo. Para cada um destes, são exibidos dois gráficos, de forma a facilitar a interpretação dos valores.

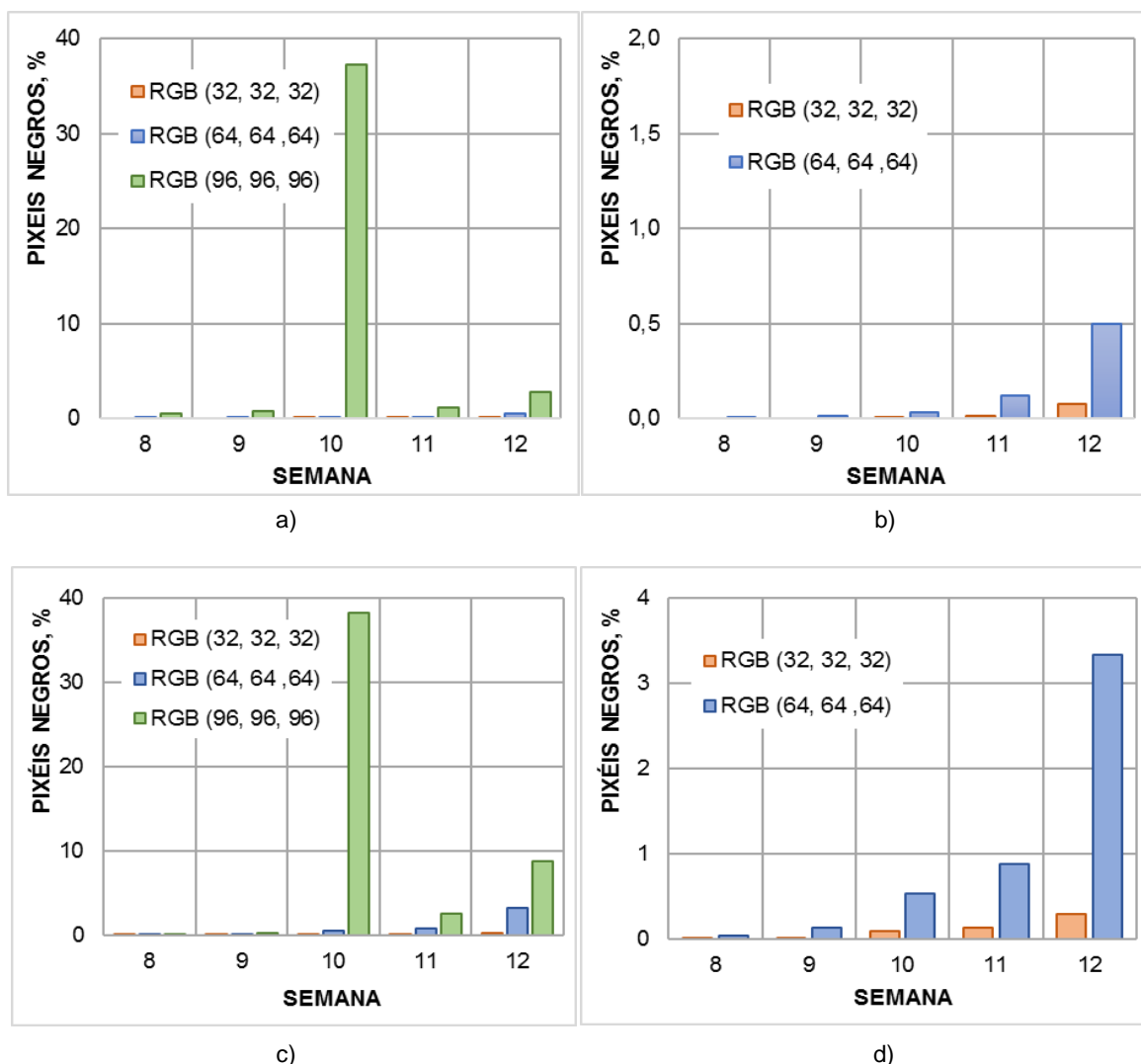


Figura 28 – Evolução do número de pixéis, em dois elementos dos provetes: a) e c) representam os três níveis definidos; b) e d) representam os níveis RGB (32, 32, 32) e RGB (64, 64, 64)

Pela análise dos gráficos da Figura 28, conclui-se que o limite que melhor se adequa a esta metodologia, aplicável aos provetes de gesso cartonado, é o RGB (64, 64, 64). O limite RGB (32, 32, 32), que representa uma cor ligeiramente mais escura que o anterior (RGB 64), não mostra o crescimento de fungos nas superfícies dos elementos, uma vez que a quantidade de pixéis negros não aumenta.

O limite RGB (96, 96, 96), que corresponde à cor mais clara de todos os limites em análise, sofre muitas oscilações consoante as condições de luz no momento do registo fotográfico. Na Figura 29 destacam-se duas imagens, correspondentes às semanas 10 e 11 do ensaio, do elemento caracterizado na Figura 28a. Verifica-se que o número de pixéis até ao limite RGB (96, 96, 96) diminui de uma semana para a outra, apesar do aumento de fungos na superfície. Essa diminuição é explicada pela imagem obtida, após o tratamento inicial, ser mais clara.

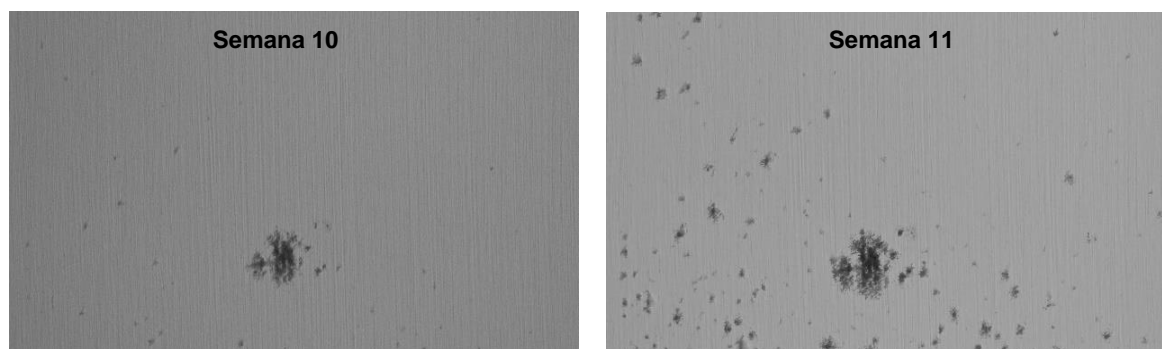


Figura 29 – Imagens, após tratamento inicial da fotografia, de duas semanas consecutivas do mesmo elemento

3.4.2.4. Procedimento II.2.2

Para os elementos dos provetes T1 e T2, aplicou-se o procedimento descrito no tópico anterior. No entanto, essa metodologia não se revelou adequada, uma vez que o número de pixels negros não aumentava à medida que cresciam os fungos, nas superfícies dos elementos.

Apresenta-se o caso de um elemento do provete T1, com a aplicação do procedimento II.2.1, de modo a exemplificar a não aplicabilidade do mesmo. A Figura 30 mostra a evolução do número de pixels negros, durante quatro semanas, utilizando como limite o RGB (64, 64, 64).

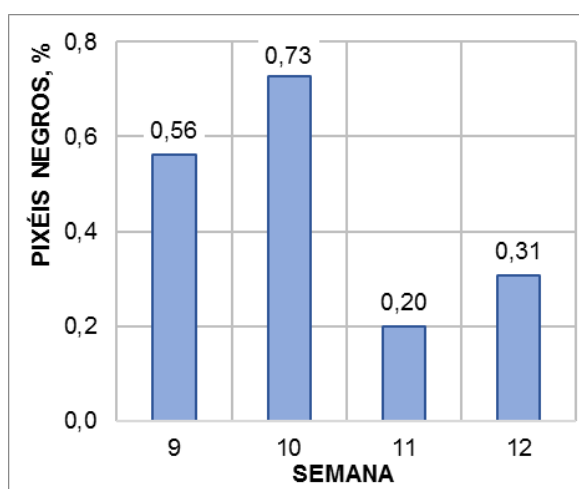


Figura 30 – Evolução do número de pixels negros, de um elemento da parede T1

A Figura 30 mostra que a evolução do número de pixels não corresponde a um aumento de fungos visíveis na superfície do elemento, visto que da semana dez para a onze a percentagem de negros na imagem diminuiu. Estas variações podem ser condicionadas pelas diferenças de luz nas fotografias. Na Figura 31, são exibidas as imagens do elemento representado anteriormente (Figura 30), da semana 10 e 11, de forma a comprovar o desenvolvimento dos fungos.

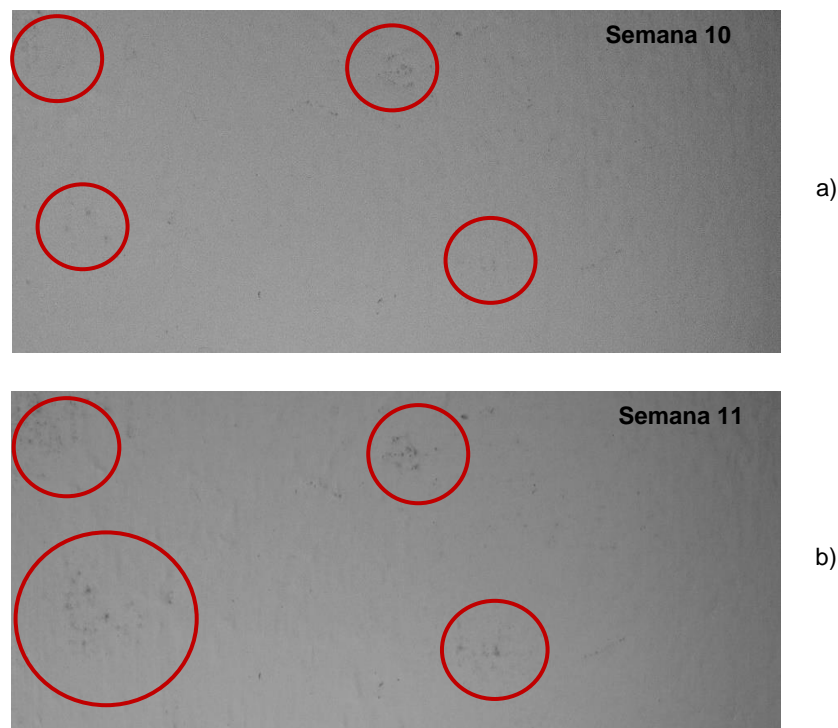


Figura 31 – Imagens, após tratamento inicial, referentes a um elemento do provete T1: a) semana 10; b) semana 11

Pela observação da Figura 31, verifica-se que os fungos visíveis aumentaram na superfície do elemento, e, consequentemente a não aplicabilidade do procedimento II.2.1, nos provetes T1 e T2. As dificuldades encontradas para empregar o procedimento anterior devem-se, sobretudo, às condições de luz. O facto de os provetes T1 e T2 serem fotografados no interior da câmara climática, limita muito ao registo fotográfico. Comparativamente aos provetes de gesso, em que as superfícies são lisas, os provetes de tabique apresentam superfícies mais rugosas, o que provoca sombras na própria imagem. As chapas colocadas entre os elementos, na face A de cada provete, são também responsáveis por sombras na imagem.

De forma a contornar as dificuldades e, obter um método que permitisse quantificar o crescimento fúngico nos provetes T1 e T2, realizaram-se vários testes aos elementos que apresentavam estes microrganismos. Com o objetivo de anular o efeito das sombras na imagem, recorrendo aos dados do histograma de cada imagem, identificou-se a moda, obtendo a cor (com determinado nível de RGB) com mais pixéis na imagem, que corresponderia à cor de fundo. Em seguida, calculou-se a percentagem de pixéis negros, variando o limite. Os limites assumiram valores menores que a moda 10, 20, 30 ou 40 níveis. Este método, tal como o anterior, não se mostrou adequado, visto que os valores obtidos não indicavam o desenvolvimento fúngico, em nenhum dos níveis analisados.

Não sendo possível aplicar um método compatível para todos os elementos da parede, optou-se por analisar imagem a imagem os elementos visivelmente contaminados. Assim, recorrendo ao selecionador de cores do programa “Paint” e picando a imagem num ponto correspondente a um fungo, identificou-se a cor aproximada (caracterizada pelo sistema RGB) do fungo naquela imagem, que variava conforme a semana do registo fotográfico, para o mesmo elemento. A Figura 32 demonstra a análise descrita, aplicada ao elemento caracterizado anteriormente (Figura 30 e Figura 31).

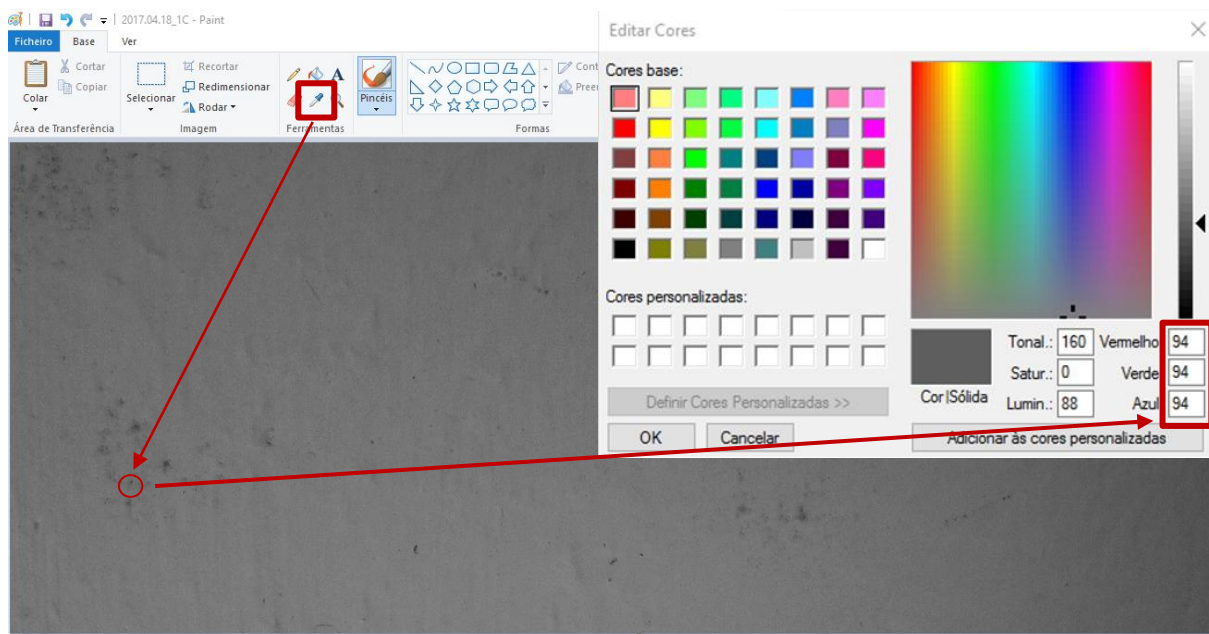


Figura 32 – Identificação da cor aproximada dos fungos

Após a aplicação dos passos demonstrados na Figura 32, em todas as imagens dos elementos com presença de fungos, obteve-se o limite de RGB a utilizar em cada imagem (uma imagem por semana, por cada provete), de forma a quantificar o crescimento fúngico.

3.5. PLANO DE TRABALHO

Considerando todas as tarefas anteriormente referidas, definiu-se o plano de trabalhos apresentado na Figura 33.

Plano de trabalhos		dez/16	jan/17	fev/17	mar/17	abr/17	mai/17	jun/17
Preparação do ensaio	Execução dos provetes (aplicação das argamassas e cortes).							
	Aplicação dos esquemas de pintura nos provetes.		19 a 23 jan					
	Limpeza e desinfeção da câmara climática.		30/jan					
	Marcação da disposição dos provetes na câmara climática.		31/jan					
	Colocação dos provetes na câmara climática.			01/fev				
	Marcação das zonas em cada elemento dos provetes.			02/fev				
	1º Registo fotográfico, com marcação dos suportes da máquina fotográfica.			06/fev				
Ensaio	Início do ensaio - Inoculação dos provetes e sistema de controlo.			07/fev				
	Fotografias 1ª Recolha de fungos			21/fev				
	Fotografias 2ª Recolha de fungos				07/mar			
	Fotografias 3ª Recolha de fungos					04/abr		
	Fotografias 4ª Recolha de fungos						02/mai	
	Fotografias 5ª Recolha de fungos						30/mai	
	Fotografias 6ª Recolha de fungos							27/jun
	Registo fotográfico	O registo fotográfico realiza-se todas as semanas.						

Figura 33 – Plano de trabalhos

4 RESULTADOS

4.1. PROCEDIMENTO I – CONTAGEM DE UFC

Os resultados das recolhas realizadas indicam o número de unidades formadoras de colónias (UFC) de fungos, existentes na zona em análise. Selecionaram-se seis zonas de recolha distintas (Figura 24), de forma a ser possível avaliar a evolução do número de colónias ao longo de todo o ensaio, apesar da aleatoriedade das zonas mais favoráveis ao crescimento de fungos poder condicionar os resultados. Os valores finais são apresentados em número de unidades formadoras de colónias por centímetro quadrado (n° UFC/ cm^2).

Com base nos resultados, são apresentados gráficos com o n° UFC/ cm^2 , por esquema de pintura, em cada recolha, obtendo-se, desta forma, a evolução do crescimento fúngico durante o ensaio.

Por fim, tentou concluir-se se a posição do elemento, quer no respetivo esquema, quer no interior da câmara climática influenciava o desenvolvimento fúngico na sua superfície. Essa avaliação está relacionada com o facto de a ventilação do interior da câmara poder condicionar a movimentação dos esporos de fungos.

4.1.1. GESSO CARTONADO NORMAL (G1)

Na primeira recolha, realizada no provete de gesso cartonado normal (G1), não se detetaram quaisquer colónias de fungos. Todos os elementos, das duas faces do provete, apresentaram contagens de UFC nulas.

Os resultados da segunda recolha (aos 28 dias) indicaram um crescimento de fungos nos esquemas 17 e 18, uma vez que, na face A (inoculada), um elemento de cada esquema apresentava colónias de fungos. Na face B (não inoculada), apenas o esquema 17 exibiu dois elementos contaminados. O número de colónias contabilizadas não ultrapassou as 7,5 UFC/ cm^2 .

Os resultados da terceira colheita, realizada aos 56 dias de ensaio, mostraram pouca proliferação de fungos, uma vez que os valores obtidos não ultrapassaram as 10 UFC/ cm^2 . Na face B deste provete (G1), não se identificaram fungos na maioria dos elementos, à exceção do elemento 18C.

A quarta recolha indicou um crescimento fúngico nos dois esquemas em estudo (17 e 18). Na face A, o menor número registado foi de 80 UFC/ cm^2 no esquema 18, enquanto que o número máximo alcançou as 990 UFC/ cm^2 no esquema 17. Na face B detetou-se um aumento significativo, atingido valores de UFC da mesma ordem de grandeza da face A.

Os resultados da quinta recolha (112 dias após a inoculação) revelaram um desenvolvimento fúngico bastante significativo. O maior número obtido nesta recolha é referente ao esquema 17 da face B (274 167 UFC/cm²), sendo que na face A, este esquema mostrou-se também o mais afetado. Relativamente ao esquema 18, a face B apresentou valores de UFC bastante superiores aos contabilizados na face A.

Os últimos resultados obtidos, referentes à sexta recolha realizada aos 140 dias de ensaio, indicaram um considerável desenvolvimento de fungos, registando quantidades de colónias máximas na maioria dos elementos do provete de gesso cartonado normal. O valor máximo de colónias contabilizado foi de 1 575 000 UFC/cm² no esquema 18, na face B (não inoculada).

A Figura 34 apresenta todos os resultados das seis recolhas realizadas no gesso cartonado normal (Figura 16a), nas zonas de colheita correspondentes, como definido anteriormente (Figura 24). Os valores apresentados correspondem a UFC/cm².

	17			18				17_0			18_0			
	0	101333	10	0	37025	0		0	69167	0	0	109098	2,5	
C														
	990	616667	2,5	250	22417	5			254167	7,5	980	280000	0	
	0	99750	2,5	0	14400	5		0	53458	0	0	36333	0	
B														
	550	22417	0	80	145833	0		473	326667	2,5	440	1575000	0	
	0	184417	2,5	0	30667	0		0	274167	0	0	73708	0	
A														
		160833	0	780	260000	0			1516667	0		291250	0	

a)
b)

Figura 34 – Resultados, em nº UFC/cm², das seis recolhas realizadas no provete G1: a) face A (inoculada); b) face B (não inoculada)

As zonas destacadas a cinzento na Figura 34, referentes à quarta recolha, correspondem a elementos em que o número de colónias de fungos não foi determinado, uma vez que as diluições realizadas não se mostraram suficientes (exemplo da Figura 26c).

Pela análise da Figura 34, verifica-se que desde a quarta recolha o efeito da inoculação deixa de ser condicionante, uma vez que o esquema 18 apresenta valores superiores na face não inoculada. A Figura 35 mostra o crescimento de fungos, durante o ensaio, em cada um dos esquemas de pintura aplicados.

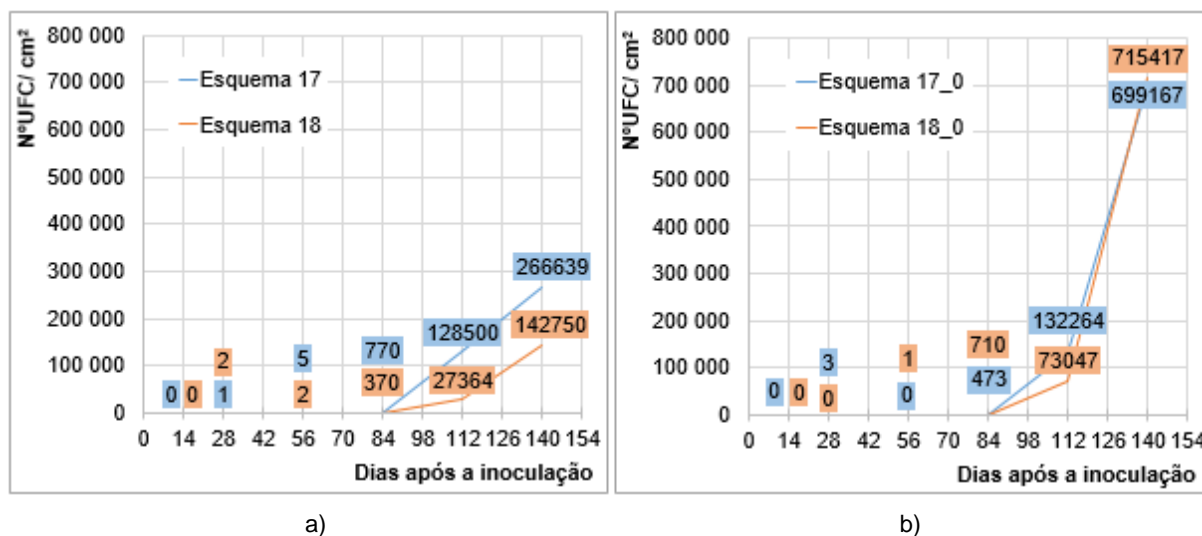


Figura 35 – Crescimento fúngico, em nº UFC/cm², no provete G1: a) face A (inoculada); b) face B (não inoculada)

Pela análise dos gráficos, da Figura 35, verifica-se que o esquema mais contaminado por fungos é o esquema 17 na face A enquanto que na face B é o esquema 18. Na face A, constata-se que existe uma maior discrepância entre os esquemas, contrariamente à face B, em que os valores se apresentam mais próximos. O maior desenvolvimento fúngico ocorreu entre a quinta e sexta recolha, espaçadas de 28 dias, na face não inoculada. Desta forma, constata-se que o efeito da inoculação da face A deixa de ser determinante sendo contabilizadas quantidades superiores de colónias na face não inoculada.

Pretendeu-se avaliar se a posição de cada um dos elementos no interior da câmara climática, condicionava os resultados. Para tal, com base nos resultados obtidos, pretendeu verificar-se se os valores mais elevados ocorriam sempre na mesma posição, isto é, no mesmo elemento (A, B ou C). A Figura 36 mostra os resultados das recolhas efetuadas no provete G1, por elemento.

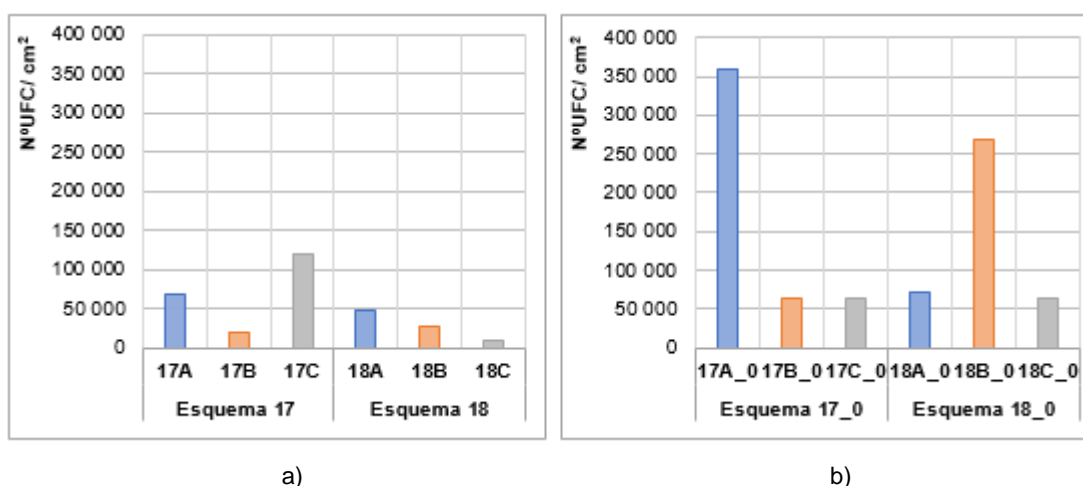


Figura 36 – Resultados das recolhas realizadas no provete G1, por elemento: a) face A; b) face B

Pela observação da Figura 36 verifica-se que os valores de colónias máximos não são contabilizados no mesmo elemento, quer por esquema, quer por face. Os resultados são inconclusivos para determinar se existe influencia da posição do elemento no interior da câmara climática.

4.1.2. GESSO CARTONADO HIDRÓFUGO (G2)

Os resultados da primeira recolha (14 dias após a inoculação) realizada no provete de gesso cartonado hidrófugo (G2), indicaram que apenas o esquema 20, nas duas faces, apresentava colónias de fungos, sendo que não excediam as 2,5 UFC/cm². O elemento contaminado é o mesmo nas duas faces do provete (G2), embora na face B o número de UFC seja menor que na face A. Nesta recolha não se identificaram colónias de fungos em mais nenhum elemento.

Os resultados da segunda recolha (aos 28 dias) mostraram um aumento do número de elementos contaminados, num total de oito. Identificaram-se fungos no esquema 19, que na recolha anterior não apresentava em nenhuma das faces. O elemento com a maior quantidade de fungos (17,5 UFC/cm²) pertence ao esquema 19 na face B.

Na terceira recolha (56 dias após a inoculação), o valor máximo de colónias contabilizado (900 UFC/cm²) ocorreu na face B, no esquema 19. Contrariamente ao esquema 20 da mesma face, que apresentava valores consideravelmente menores (2,5 UFC/cm²). Na face A, registou-se o maior número de UFC's no esquema 20.

Os resultados da quarta recolha foram inconclusivos, uma vez que na maioria dos elementos não se determinou o número de UFC's. No entanto, considerando somente o esquema 20, na face A apresentou um elevado número de colónias de fungos, atingindo as 10104 UFC/cm². Na face B, o único valor obtido foi de 650 UFC/cm², referente ao mesmo esquema.

A quinta recolha, realizada aos 112 dias, revelou grandes quantidades de colónias em todos os elementos do provete (G2). Na face A os valores obtidos eram da mesma ordem de grandeza, à exceção do elemento 20B, que apresentou um valor inferior. Na face B, no elemento 20C, contabilizou-se o maior número de colónias de fungos.

A última recolha realizada 140 dias após o início do ensaio, revelou quantidades de colónias elevadas resultante do crescimento de fungos nas superfícies do provete. O número mais elevado de colónias (2 616 667 UFC/cm²) não só deste provete, mas também de todos os provetes em estudo, foi contabilizado no esquema 20, na face B. Os valores referentes à face A, foram consideravelmente elevados, no entanto na maioria dos elementos inferiores aos da face B.

A Figura 37 apresenta todos os resultados das seis recolhas realizadas no provete G2 (Figura 16b), nas zonas correspondentes (Figura 24). As zonas destacadas a cinzento, relativas à quarta recolha, correspondem a resultados indeterminados, tal como no provete anterior (G1). Os valores indicados representam UFC/cm².

Verifica-se que o número máximo em cada um dos elementos, foi contabilizado na sexta recolha, indicando que possivelmente os fungos presentes nestas superfícies estariam em fase de crescimento da espécie.

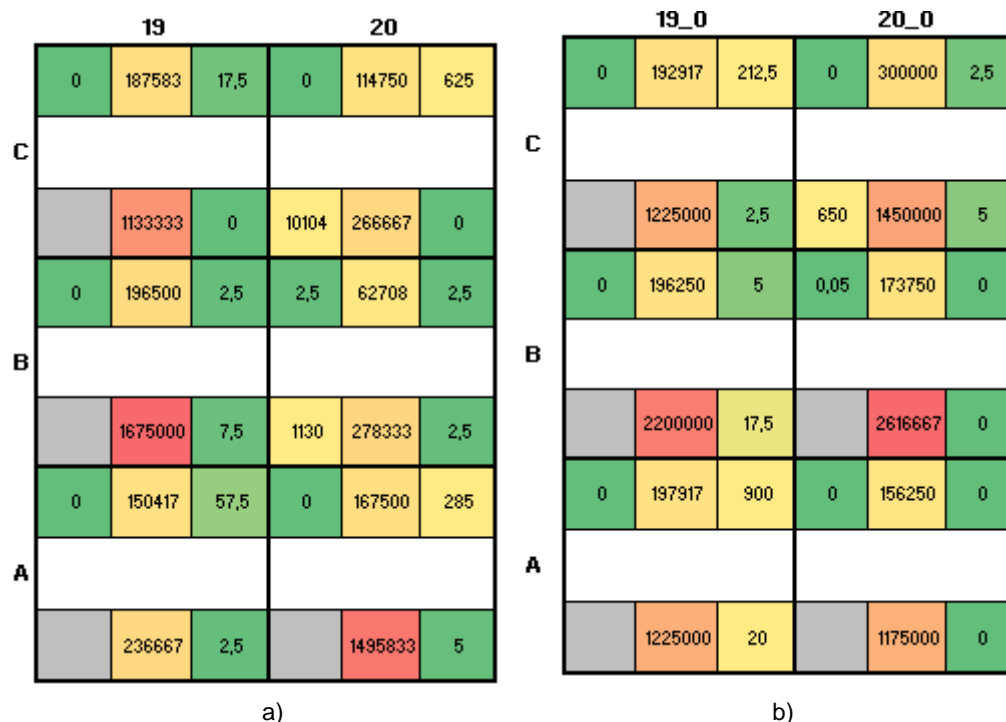


Figura 37 – Resultados, em nº UFC/cm², das cinco recolhas realizadas no provete G2: a) face A; b) face B

Pela observação da Figura 38, verifica-se que, na face A, o esquema 19 é o mais contaminado, apresentando um valor de UFC superior ao esquema 20, na última recolha realizada. No entanto, na face B constata-se que o esquema 20 apresentou maiores quantidades de fungos, (apesar de não existirem resultados relativos à quarta recolha). Na face B, ambos os esquemas indicaram valores de UFC aproximados e bastante superiores à face A, mostrando que, perante quantidades elevadas de fungos o efeito da inoculação não é determinante, tal como aconteceu no provete G1 (gesso cartonado normal).

O facto de os números de colónias de cada esquema serem aproximados no caso das faces não inoculadas pode estar relacionado com a não colocação de chapas de zinco nesta face, possibilitando uma propagação mais fácil de fungos entre os elementos.

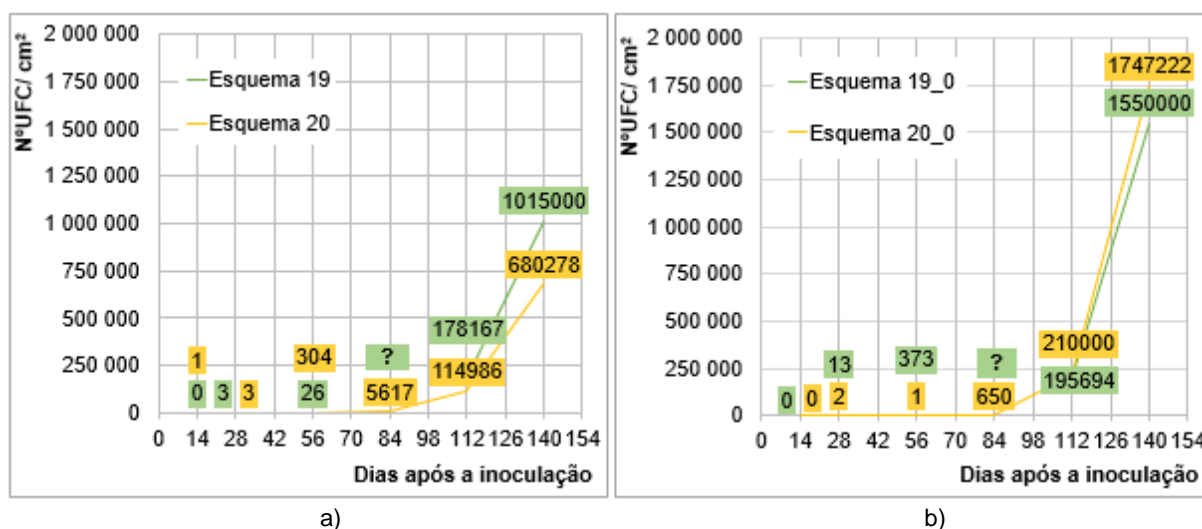


Figura 38 – Crescimento fúngico, em nº UFC/cm², no provete G2: a) face A; b) face B

Pela análise da Figura 39, verifica-se que o número mais elevado de colónias no esquema 19, foi registado no elemento 19B em ambas as faces do provete. O valor máximo no esquema 20, assim como em cada uma das faces não contabilizado na mesma posição do elemento (A, B ou C). Desta forma, constata-se que a avaliação realizada não foi conclusiva para determinar se os resultados em cada elemento do provete G2 foram condicionados pela posição destes na câmara climática.

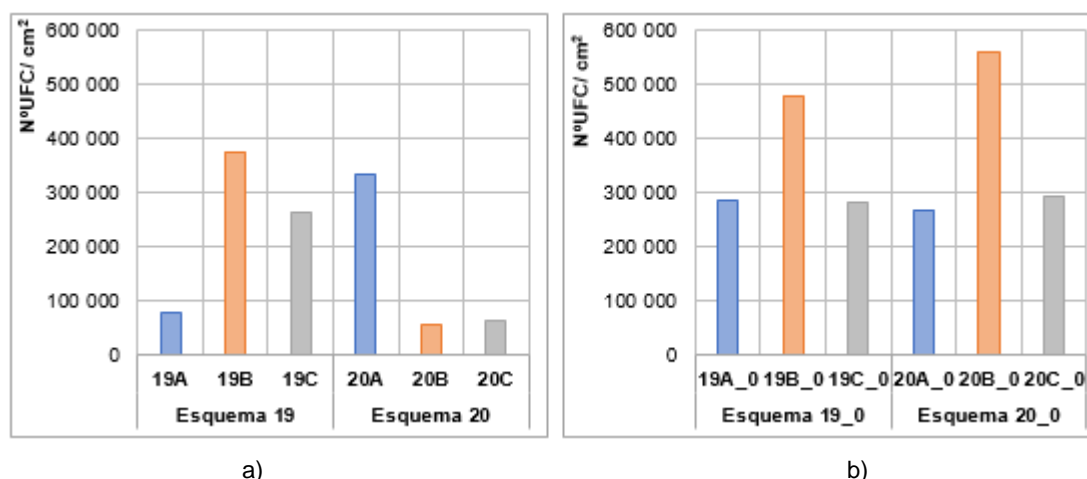


Figura 39 – Resultados das recolhas realizadas no provete G2, por elemento: a) face A; b) face B

4.1.3. PAREDE T1

Os resultados da primeira recolha revelaram presença de colónias de fungos em apenas três elementos da face A (inoculada) da parede T1, num total de 24 elementos, não ultrapassando as 2,5 UFC/cm². Dois desses elementos correspondem ao esquema 1 e o restante ao esquema 7. Nesta recolha, a face B (não inoculada) não apresentou sinais destes microrganismos, não existindo qualquer UFC.

Após 28 dias do início do ensaio, na face A, os elementos com presença de fungos aumentaram, totalizando onze elementos afetados. Nos esquemas 3 e 8 não se detetaram colónias de fungos. Por outro lado, na face B, apenas sete elementos indicavam crescimento fúngico. Os esquemas 2, 4 e 7 não apresentavam colónias de fungos, nesta face. O maior número de colónias registado foi de 85 UFC/cm², no esquema 1 da face B.

Os resultados da terceira recolha, indicaram que o esquema 1 era o mais contaminado, quer na face A, quer na face B, sendo o elemento 1B o que exibia mais colónias de fungos (3675 UFC/cm²). A face A apresentava fungos em todos os elementos, enquanto que na face B existiam três elementos, pertencente ao esquema 3, 5 e 8, sem presença de fungos.

A quarta recolha de fungos revelou um aumento do número de colónias de fungos, principalmente no esquema 1 da face A, obtendo-se 8333 UFC/cm². Em paralelo, na face B, também o esquema 1 apresentou o maior número de colónias de fungos, destacando-se dos restantes esquemas da parede T1.

Com base nos os resultados da quinta recolha (aos 112 dias), verificou-se que o esquema 1 continuava a mostrar-se o mais contaminado, apesar de alguns valores serem inferiores relativamente à recolha anterior. Na face A os restantes esquemas apresentaram valores relativamente baixos, tal como na face B, não existindo um único valor que se destaque.

Os resultados da última recolha indicaram crescimento de colónias em alguns dos elementos, enquanto que em outros o número de colónias contabilizado foi menor em relação aos dados da quinta recolha.

Verifica-se, tal como nas outras recolhas que as maiores quantidades de colónias se registaram no esquema 1 em ambas as faces do provete. Nos restantes esquemas deste provete (T1), verifica-se que os valores contabilizados são relativamente baixos, sendo que a face A, globalmente, aparenta ser a mais contaminada.

A diminuição no número de colónias em alguns elementos pode estar relacionada com o facto de as recolhas se realizarem em zonas distintas em cada um dos elementos. Recorde-se ainda que as contagens das recolhas realizadas apenas contabilizam os microrganismos vivos, ou seja, que se desenvolvem nas caixas de petri.

Na Figura 40 estão agrupados os resultados de todas as recolhas realizadas na parede T1 (Figura 14), indicados nas zonas correspondentes, (Figura 24). Os valores indicados correspondem ao número de UFC/cm². Nas zonas referentes à quarta e quinta recolha, destacadas a cinzento no esquema 1, esquema 7 e esquema 8, o número de UFC não foi determinado.

	1			2			3			4			5			6			7			8		
C	2,5	2417	10	0	30	5	0	0	185	0	88	40	0	14	10	0	14	5	0	68	7,5	0	37	5
		1858	28	3	106	0	8	13	0	5	17	2,5	10	101	2,5	18	28	5	3	46	2,5	20	49	0
B	0	1833	350	0	43	25	0	11	15	0	12	10	0	44	5	0	5	2,5	0		50	0	32	33
	8333	858	2,5	15	23	0	10	55	0	18	27	0	13	41	0	5	34	2,5	225	53	2,5	8	44	0
A	2,5	3708	73	0	42	15	0	10	12,5	0	16	30	0	18	7,5	0	7	15	2,5		20	0		10
		5917	2,5	108	8	5	33	48	0	0	188	0	13	141	0	15	168	2,5	123	204	0	115	134	0

a)

	1_0			2_0			3_0			4_0			5_0			6_0			7_0			8_0		
C	0	8	317	0	36	15	0	43	3	0	20	20	0	12	0	0	15	0	0	9	3	0	6	0
	692	297	85	5	12	0	3	83	0	3	39	0	3	38	2,5	3	23	2,5	0	13	0	0	7	0
B	0	813	3675	0	7	3	0	16	0	0	8	8	0	2	5	0	7	3	0	8	5	0	2	0
	1500	368	60	0	36	0	15	40	0	3	41	0	0	7	0	0	26	2,5	13	29	0	10	4	2,5
A	0	875	215	0	4	0	0	25	53	0	3	5	0	2	0	0	8	5	0	78	8	0	2	5
	3625	1392	0	38	31	0	308	23	7,5	0	15	0	5	32	0	0	78	0	13	21	0	18	10	0

b)

Figura 40 – Resultados, em nº UFC/cm², das seis recolhas realizadas no provete T1: a) face A; b) face B

As diferenças entre as faces da parede (T1) tornam-se evidentes pela observação das Figura 41 e Figura 42, que apresentam a evolução do número de UFC durante o ensaio em cada um dos esquemas. Verifica-

se, ao analisar a Figura 41, que o esquema 1 nas duas faces da parede, se destaca por apresentar quantidades de fungos bastante mais elevadas que nos restantes esquemas. Em ambas as faces, o número de colónias diminui, da quarta para a quinta recolha, sendo que na sexta recolha os valores contabilizados foram ligeiramente superiores. Os maiores números de colónias detetaram-se na face inoculada do provete (T1).

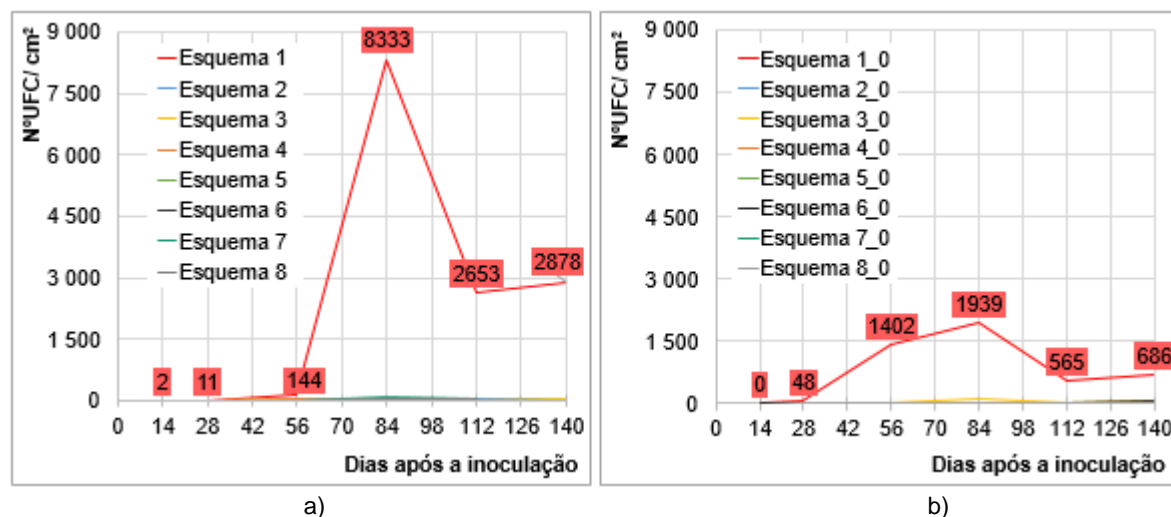


Figura 41 – Crescimento fúngico, em nº UFC/cm², no provete T1: a) face A; b) face B

A Figura 42 representa o desenvolvimento de fungos, nos restantes esquemas do provete T1. De forma a permitir uma melhor interpretação dos resultados, optou-se por dividir a representação dos restantes esquemas.

Analisando a Figura 42a, referente à face A do provete T1, verifica-se que na maioria dos esquemas os valores das colónias tanto diminuem, como aumentam, durante o ensaio, devido às zonas de recolha serem distintas. Na terceira recolha, aos 56 dias, o esquema 3 apresenta um maior número de UFC. Na quarta recolha (aos 84 dias de ensaio), o cenário alterou-se por completo, sendo que o esquema 7 apresenta número de UFC mais elevado e o esquema 4 o menor. No final do ensaio, verifica-se que o esquema 7 se mantém como o mais contaminado, sendo o esquema 4 a apresentar o menor número de colónias nesta fase.

Relativamente à face B (Figura 42b), destaca-se também o comportamento do esquema 3, que aos 84 dias de ensaio apresenta o maior valor contabilizado nesta face, diminuindo na quinta recolha, mostrando-se como o esquema com mais colónias de fungos no final do ensaio. O esquema 8, nesta face apresenta o menor número de colónias de fungos, aos 140 dias de ensaio.

Comparando as duas faces do provete T1, constata-se que todos os esquemas (2 a 8), à exceção do esquema 3, apresentam mais colónias de fungos na face A, possivelmente devido à inoculação desta face.

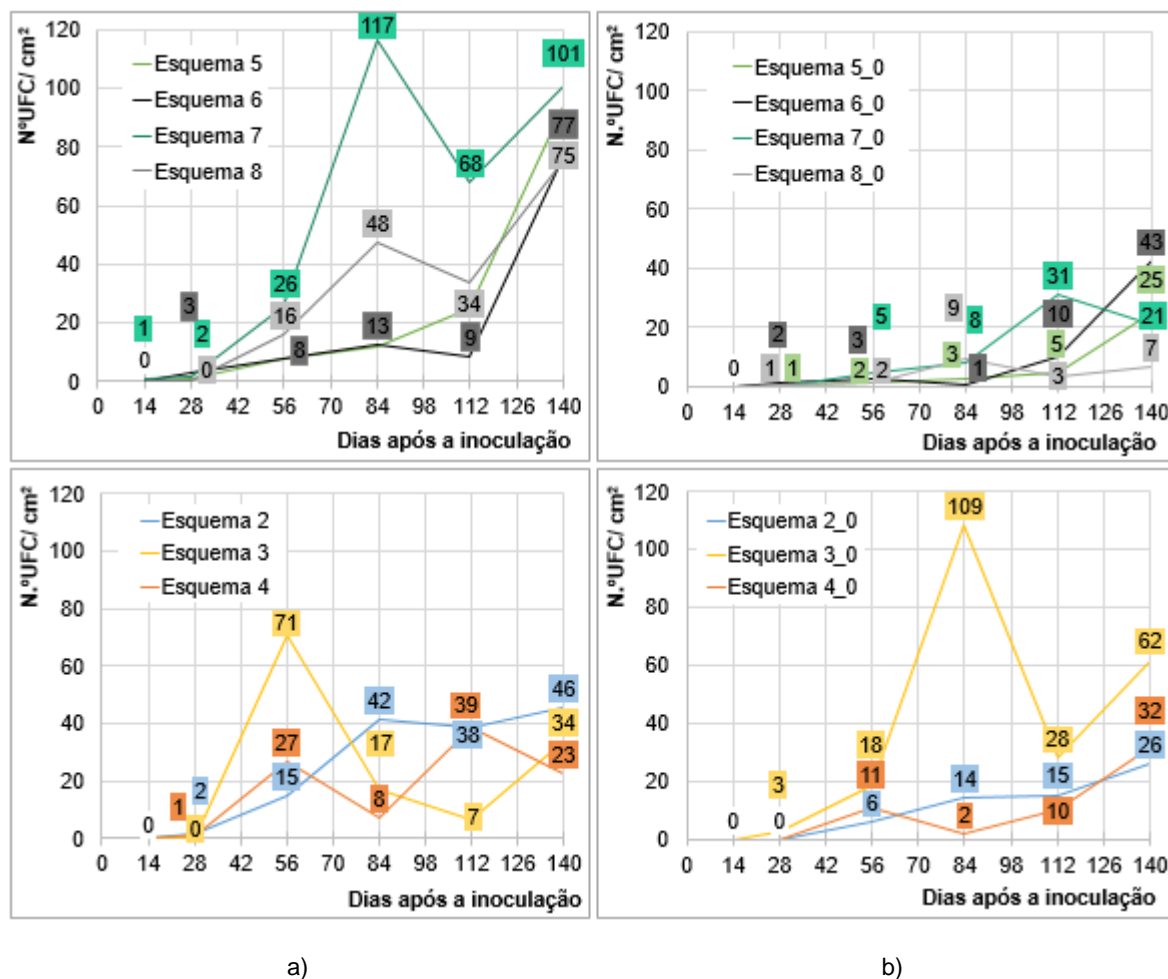
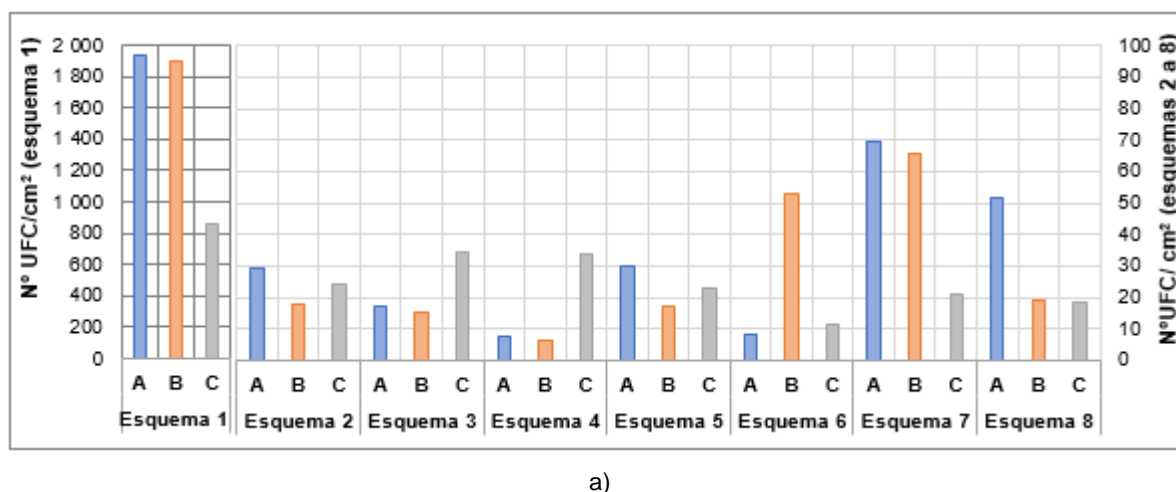


Figura 42 – Crescimento fúngico, em nº UFC/cm², no provete T1 (esquemas 2 a 8): a) face A; b) face B

Verifica-se que a posição dos elementos, quer no esquema, quer no interior da câmara climática, não tem qualquer influência nos resultados obtidos. A Figura 43 demonstra que os valores máximos de UFC, ocorrem de forma aleatória tanto no respetivo esquema como na face.



a)

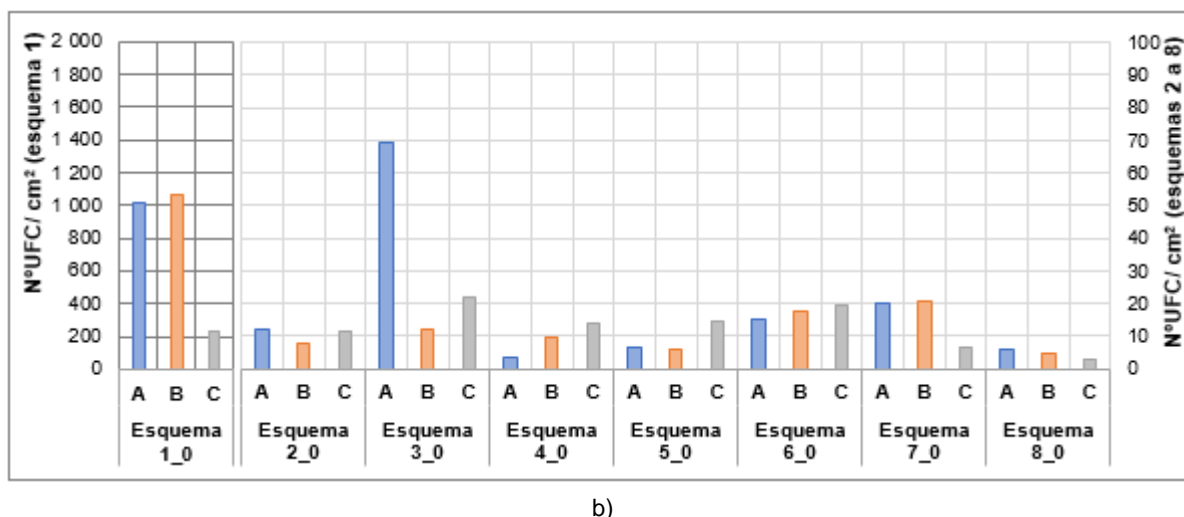


Figura 43 – Resultados das recolhas realizadas no provete T1, por elemento: a) face A; b) face B

4.1.4. PAREDE T2

Na parede T2, na face A, os primeiros resultados (aos 14 dias) indicaram que existiam fungos em quatro dos 24 elementos, com um número máximo de 25 UFC/cm². Os elementos referidos pertencem ao esquema 9, 11, 14 e 16. Na face B detetaram-se colónias de fungos em oito dos 24 elementos, sendo que o valor máximo obtido foi de 5 UFC/cm². Os elementos contaminados integram os esquemas 9, 11, 12, 14 e 15.

Os resultados da segunda recolha (aos 28 dias) mostraram um desenvolvimento fúngico em mais onze elementos da face A, sendo que o maior valor registado foi de 62,5 UFC/cm². A face B apresentava menos elementos afetados, nove em 24, sendo que os mais afetados pelos fungos constituíam o esquema 9 com um valor máximo de 242,5 UFC/cm². No esquema 13, da face B, não se detetaram colónias de fungos.

Os terceiros resultados obtidos (aos 56 dias) mostraram um crescimento de fungos sobretudo no esquema 9 da face A, atingindo as 1220 UFC/cm². Na face A existiam três elementos sem presença de fungos. Na face B era também o esquema 9 que apresentava mais colónias de fungos. Esta face exibía seis elementos sem presença de fungos.

Os valores relativamente à quarta recolha de fungos, realizada aos 84 dias de ensaio, indicaram que o desenvolvimento fúngico ocorreu sobretudo no esquema 9, nas duas faces da parede (T2), sendo que num dos elementos se registou 21721 UFC/cm². Nesta fase do ensaio, todos os elementos da face A se encontravam contaminados. Na face B, em dois elementos pertencentes ao esquema 11 e 15, não tinham sido detetadas colónias de fungos.

Os resultados da quinta recolha (aos 112 dias), revelaram um desenvolvimento fúngico, principalmente no esquema 9. Relativamente à face A, identificaram-se alguns elementos em que o número de UFC diminui comparativamente com a quarta recolha. Na face B, de modo geral, o número de colónias contabilizado em cada elemento foi inferior ao registado na face A.

Os resultados da última recolha revelaram um ligeiro aumento do número de colónias relativamente à quinta recolha em alguns elementos. Nos outros elementos manteve-se a diminuição verificada na recolha anterior. Os valores mais elevados desta recolha, tal como nas outras foram detetados no esquema 9, atingindo 8917 UFC/cm² no elemento C da face A do provete (T2).

A Figura 44 mostra os resultados de todas as recolhas realizadas na parede T2 (Figura 15), nas respetivas zonas (Figura 24). Os valores apresentados correspondem ao nº UFC/cm². Nas zonas destacadas a cinzento, referentes à quinta recolha, o número de UFC não foi determinado. O esquema 9 identificou-se como o mais contaminado em ambas as faces do provete, uma vez que apresenta números de colónias de fungos superiores aos restantes esquemas.

	9			10			11			12			13			14			15			16		
C	25	7375	1220	0	58	0	0	20	2,5	0	42	7,5	0	16	5	0	29	7,5	0	18	7,5	0	108	
	21729	8917	22,5	3	63	0	3	26	0	20	213	0	10	23	2,5	20	22	0	8	88	0	17	27	63
B	0	2167	20	0	24	2,5	7,5	64	0	0	28	0	0	11	0	0	9	18	0	18	2,5	2,5	68	18
	550	7583	17,5	8	23	0	85	25	0	0	21	2,5	10	21	0	45	50	10	23	46	0	3	65	0
A	0	3167	7,5	0		0	0	19	5	0	63	0	0		0	2,5	66	0	0	19	0	0		2,5
	590	113	7,5	133	14	5	25	59	2,5	138	43	0	110	25	5	125	15	0	20	46	5	160	38	5
a)																								
	9_0			10_0			11_0			12_0			13_0			14_0			15_0			16_0		
C	5	6242	650	0	14	0	0	25	0	0	6	0	0	5	2,5	0	7	5	0	12	0	0	1	2,5
	854	2813	5	18	77	0	10	77	0	0	25	5	13	17	0	3	33	2,5	0	108	0	45	25	0
B	2,5	4032	230	0	26	0	0	27	0	5	8	0	0	6	2,5	0	5	2,5	0	15	2,5	0	11	5
	1596	4958	2,5	5	26	2,5	0	23	0	5	22	0	10	39	0	5	38	2,5	3	28	0	8	38	0
A	2,5	625	83,3	0	156	0	2,5	50	0	0	33	2,5	0	6	0	2,5	14	2,5	5	4	0	0	2	0
	12242	5208	243	58	127	0	10	36	0	13	53	2,5	23	67	0	5	109	0	5	15	0	8	26	2,5
b)																								

Figura 44 – Resultados, em nº UFC/cm², das seis recolhas realizadas no provete T2: a) face A; b) face B

As desigualdades de comportamento de cada um dos esquemas consoante a face em que se encontram analisam-se Figura 45 e Figura 46. Estas demonstram a evolução da quantidade de colónias de fungos em cada um dos esquemas deste provete (T2).

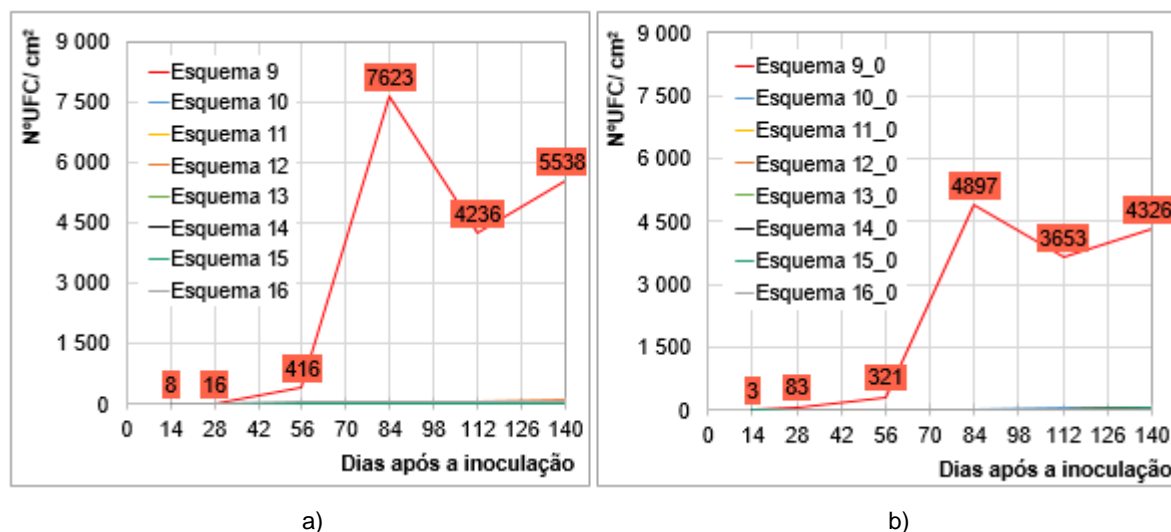


Figura 45 – Crescimento fúngico, em nº UFC/cm², no provete T2: a) face A; b) face B

Ao observar a Figura 45, constata-se que o esquema 9, neste provete (T2), é claramente o mais contaminado por fungos. A evolução do número de colónias tem um comportamento semelhante nas duas faces do provete, uma vez que o número de UFC apresenta o seu máximo aos 84 dias de ensaio, e o mínimo aos 14 dias (primeira recolha). A face A regista sempre valores superiores, à exceção do que acontece aos 28 dias de ensaio, que tem o seu máximo na face B. No final do ensaio, o número de colónias foi aproximado nas duas faces. Verificou-se ainda que o número de colónias de fungos aumentou ligeiramente na sexta recolha. Este aumento pode ser explicado pelo facto de as recolhas serem realizadas em zonas distintas.

A Figura 46 representa os restantes esquemas do provete T2, esquema 10 a 16. Observa-se que na maioria dos esquemas da face A, deste provete (T2), o valor máximo registado ocorreu aos 84 dias de ensaio (quarta recolha), no entanto, nos esquemas 15 e 16, ocorre um aumento do número de colónias. No final do ensaio, o esquema com menor presença fúngica é o esquema 13, enquanto que o esquema 12 mostra-se o mais contaminado. Em alguns elementos verificou-se um ligeiro aumento do número de colónias de fungos na sexta recolha realizada aos 140 dias de ensaio.

Por outro lado, a face B (Figura 46b) mostra um aumento das colónias de fungos, ao longo do ensaio, em todos os esquemas à exceção dos esquemas 13 e 16, em que se verifica uma diminuição no número de colónias de fungos na quarta recolha. No final do ensaio, os esquemas com mais e menos quantidades de fungos são o esquema 14 e 16, respetivamente.

Comparando as duas faces do provete T1, verifica-se em alguns casos o número de colónias mais elevado é detetado na face B. O facto de não existir chapas entre os elementos na face B pode possibilitar uma propagação de fungos entre estes mais fácil.

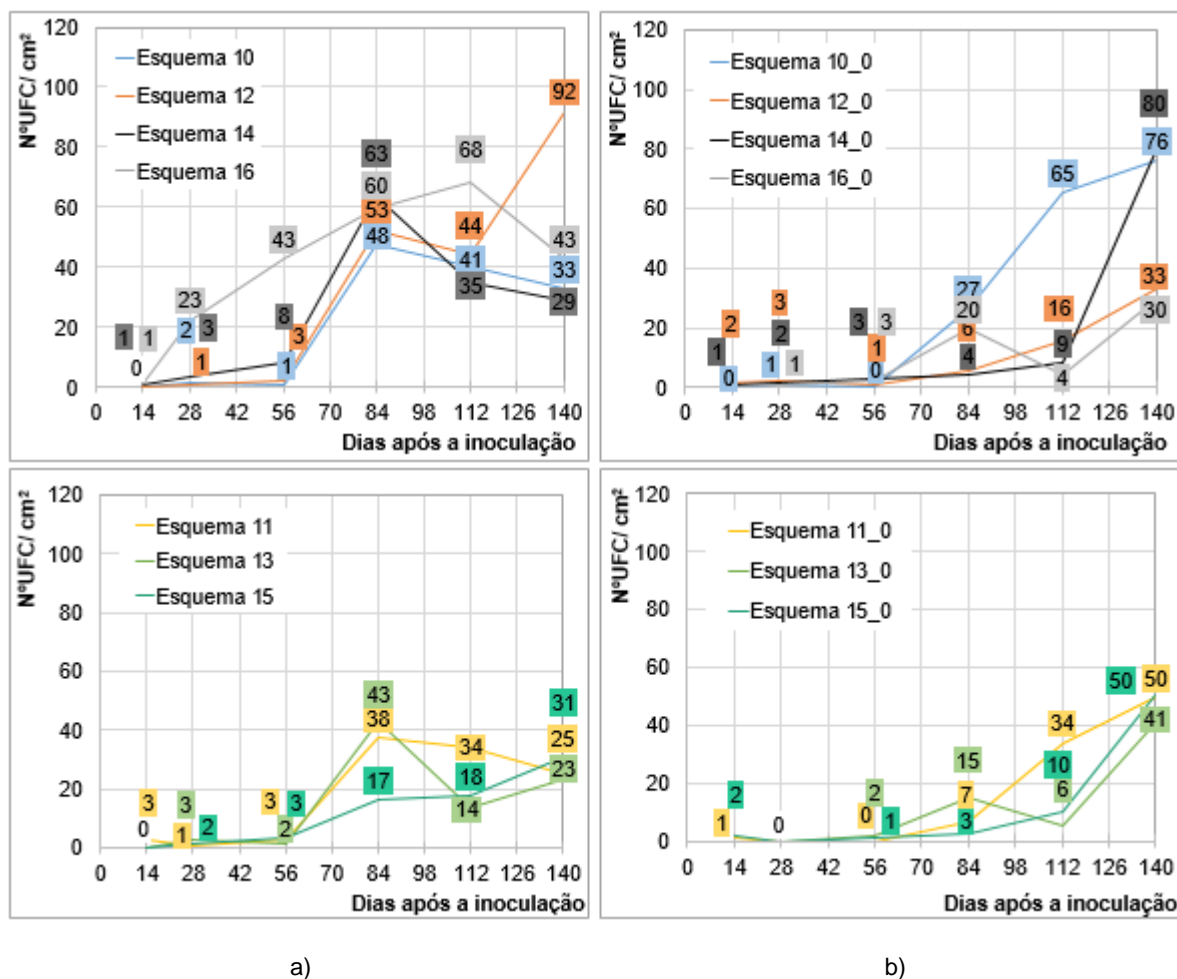
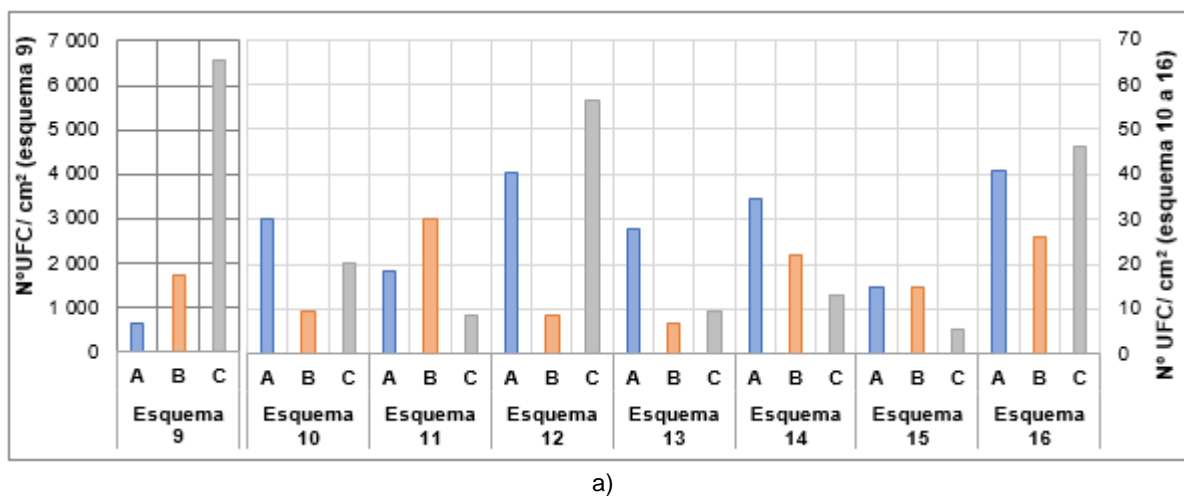
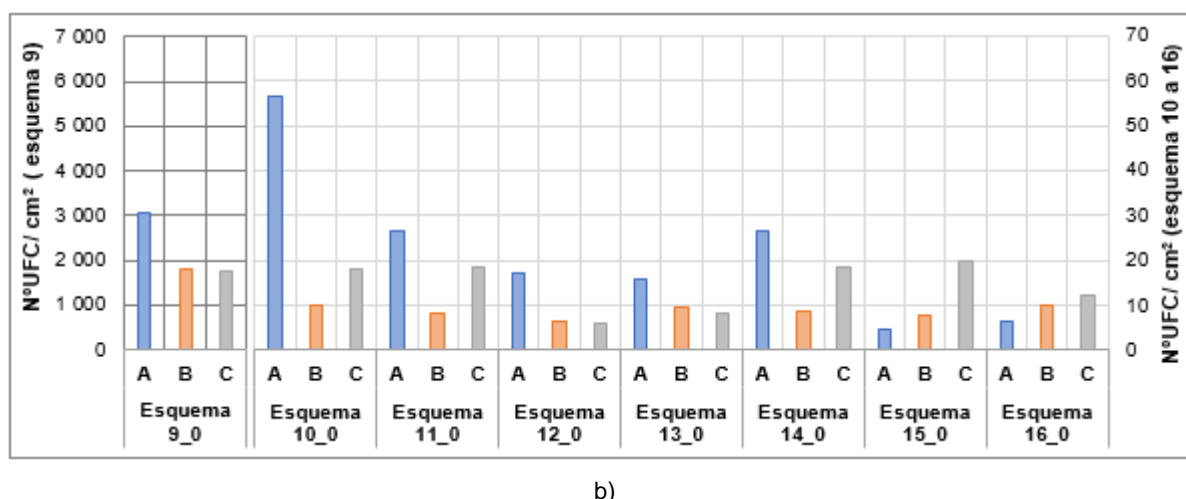


Figura 46 – Crescimento fúngico, em nº UFC/cm², no provete T2 (esquemas 10 a 16): a) face A; b) face B

A Figura 47 apresenta os resultados obtidos em cada um dos elementos da parede T2, de forma a avaliar a influência da sua posição nos resultados obtidos, tal como para o caso dos outros provetes em estudo.





b)

Figura 47 – Resultados das recolhas realizadas no provete T2, por elemento: a) face A; b) face B

Verifica-se, pela observação da Figura 47, que não é possível afirmar com certeza que a posição tem influência nos resultados obtidos, uma vez que se os valores máximos assim como os mínimos de colónias de fungos não são detetados sempre na mesma posição (A, B ou C).

4.2. PROCEDIMENTO II – REGISTO FOTOGRÁFICO

O registo fotográfico realizou-se todas as semanas, em todos os elementos da face A (face inoculada), de cada um dos provetes até aos 140 dias de ensaio. Tem como objetivo detetar a presença de fungos visíveis nas superfícies e avaliar o seu crescimento, uma vez que elementos contaminados podem ainda não exibir qualquer manifestação fúngica, observável a olho nu.

Primeiramente, são analisados os elementos de cada um dos provetes, considerando toda a área do elemento, de forma a detetar a presença de fungos visíveis na superfície de cada um, procedimento II.1. Em seguida, com base nas fotografias, são apresentados os resultados dos procedimentos desenvolvidos para a análise quantitativa do crescimento fúngico. O procedimento II.2.1 aplica-se aos provetes de gesso cartonado (G1 e G2) e o procedimento II.2.2 aos provetes de tabique (T1 e T2).

4.2.1. GESSO CARTONADO NORMAL (G1)

4.2.1.1. Procedimento II.1

A primeira ocorrência de manifestação de fungos, na superfície de gesso cartonado normal (G1), ocorreu 49 dias após o início do ensaio. Os primeiros fungos manifestaram-se nos dois esquemas de pintura aplicados, uma vez que os elementos 17A e 18A apresentavam superfícies visivelmente contaminadas. Observaram-se fungos no elemento 17C aos 56 dias, e nos elementos 17B e 18C aos 63 dias. No elemento 18B apenas se identificaram fungos 77 dias após a inoculação.

De forma a observar o crescimento de fungos em cada elemento do provete (G1), a Figura 48, Figura 49 e Figura 50 mostram os elementos referentes ao esquema 17 (17A, 17B e 17C, respetivamente). O esquema 18 é apresentado nas Figura 51, Figura 52 e Figura 53 relativas aos elementos 18A, 18B e 18C, respetivamente.

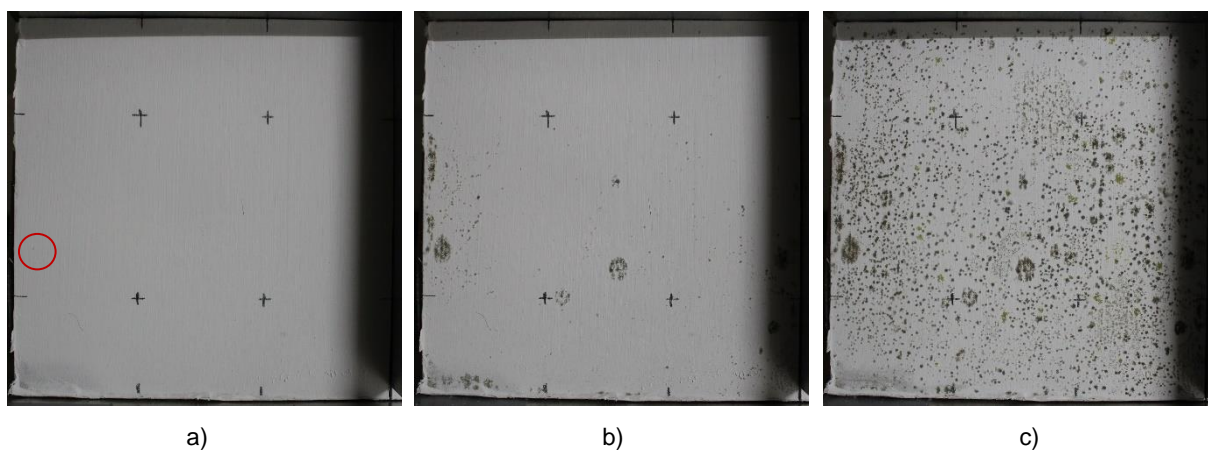


Figura 48 – Registo fotográfico do elemento 17A, do provete G1: a) aos 49 dias; b) aos 77 dias; c) aos 112 dias

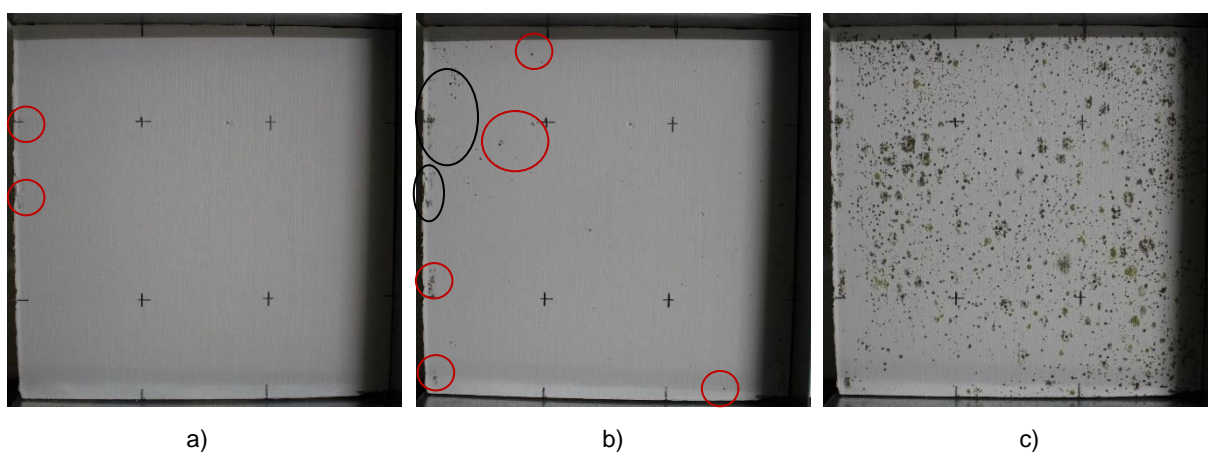


Figura 49 – Registo fotográfico do elemento 17B, do provete G1: a) aos 63 dias; b) aos 84 dias; c) aos 112 dias

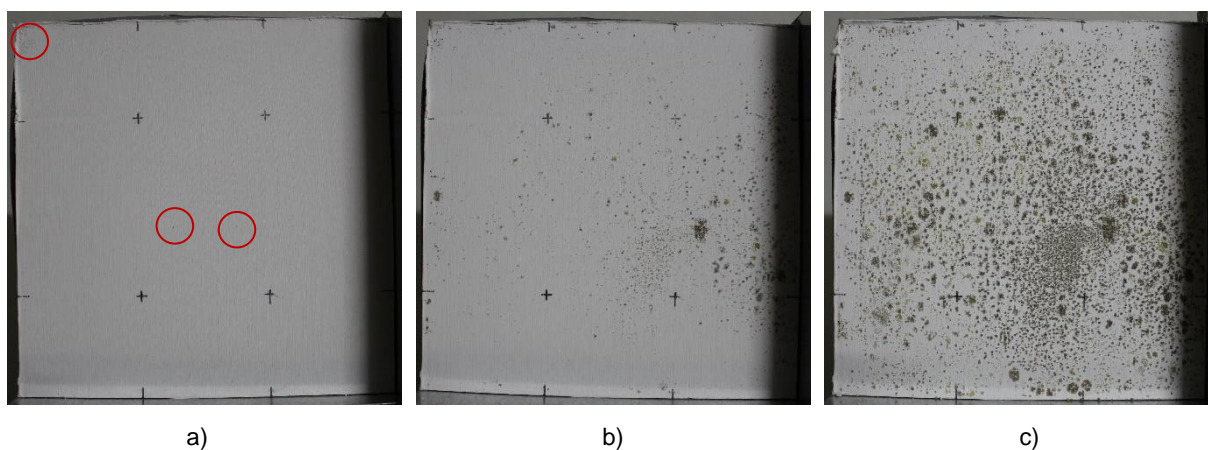


Figura 50 – Registo fotográfico do elemento 17C, do provete G1: a) aos 56 dias; b) aos 84 dias; c) aos 112 dias

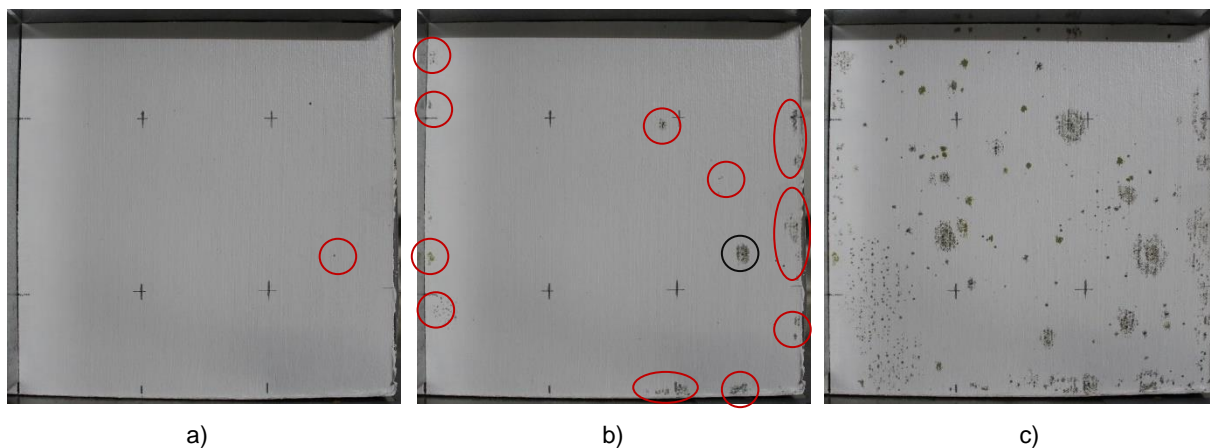


Figura 51 – Registo fotográfico do elemento 18A, do provete G1: a) aos 49 dias; b) aos 77 dias; c) aos 112 dias

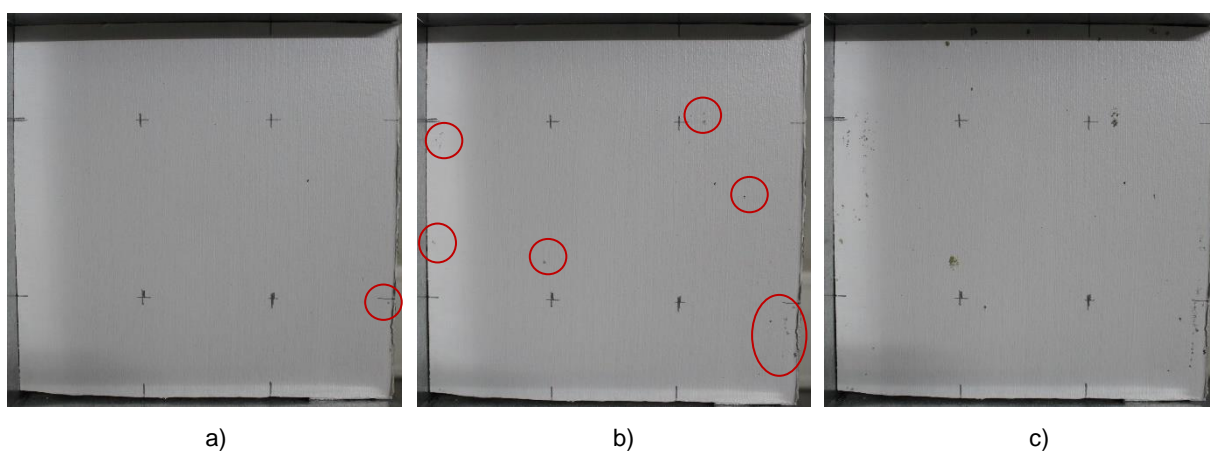


Figura 52 – Registo fotográfico do elemento 18B, do provete G1: a) aos 77 dias; b) aos 91 dias; c) aos 112 dias

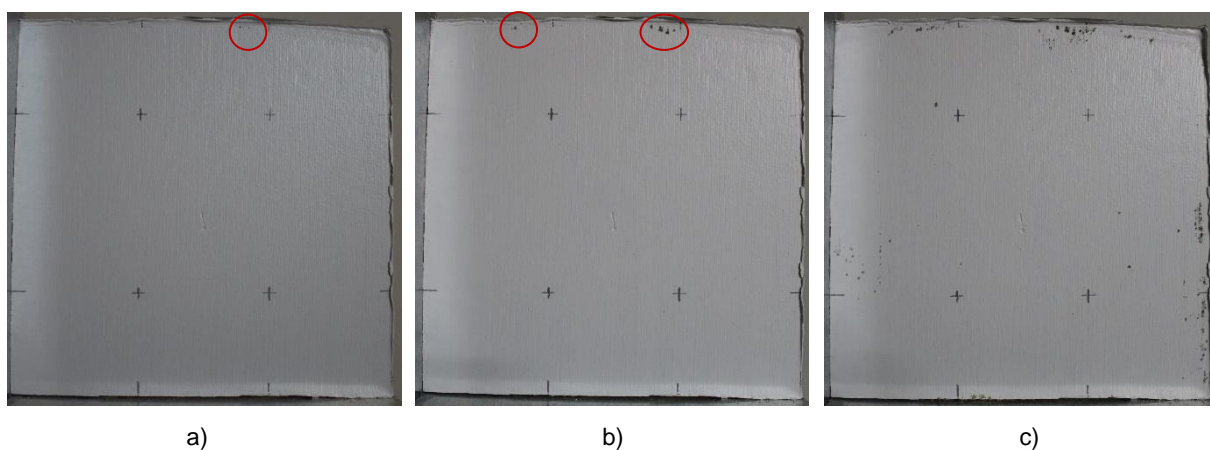


Figura 53 – Registo fotográfico do elemento 18C, do provete G1: a) aos 63 dias; b) aos 84 dias; c) aos 112 dias

Pela observação das superfícies dos elementos pertencentes ao provete de gesso cartonado normal (Figura 48 à Figura 53), verifica-se que o crescimento dos fungos ocorreu de forma mais significativa no esquema 17. O esquema 18 apresentou uma menor proliferação de fungos em todos os seus elementos.

A presença de fungos, nas superfícies dos elementos, é detetada principalmente pela cor. Os primeiros fungos visíveis em cada elemento manifestaram-se sobretudo nas suas extremidades, propagando-se depois de forma aleatória em cada um dos elementos. No elemento 18A (Figura 51) identificam-se dois modos de propagação diferente, um de forma mais aglomerada, exibindo na superfície manchas características, e outro em que aparentam estar mais afastados, espalhando-se por toda a superfície.

A Figura 54 apresenta as superfícies dos esquemas 17 e 18 do provete de gesso cartonado normal aos 140 dias de ensaio, sendo que o esquema 17 manifesta maiores quantidades de fungos visíveis.

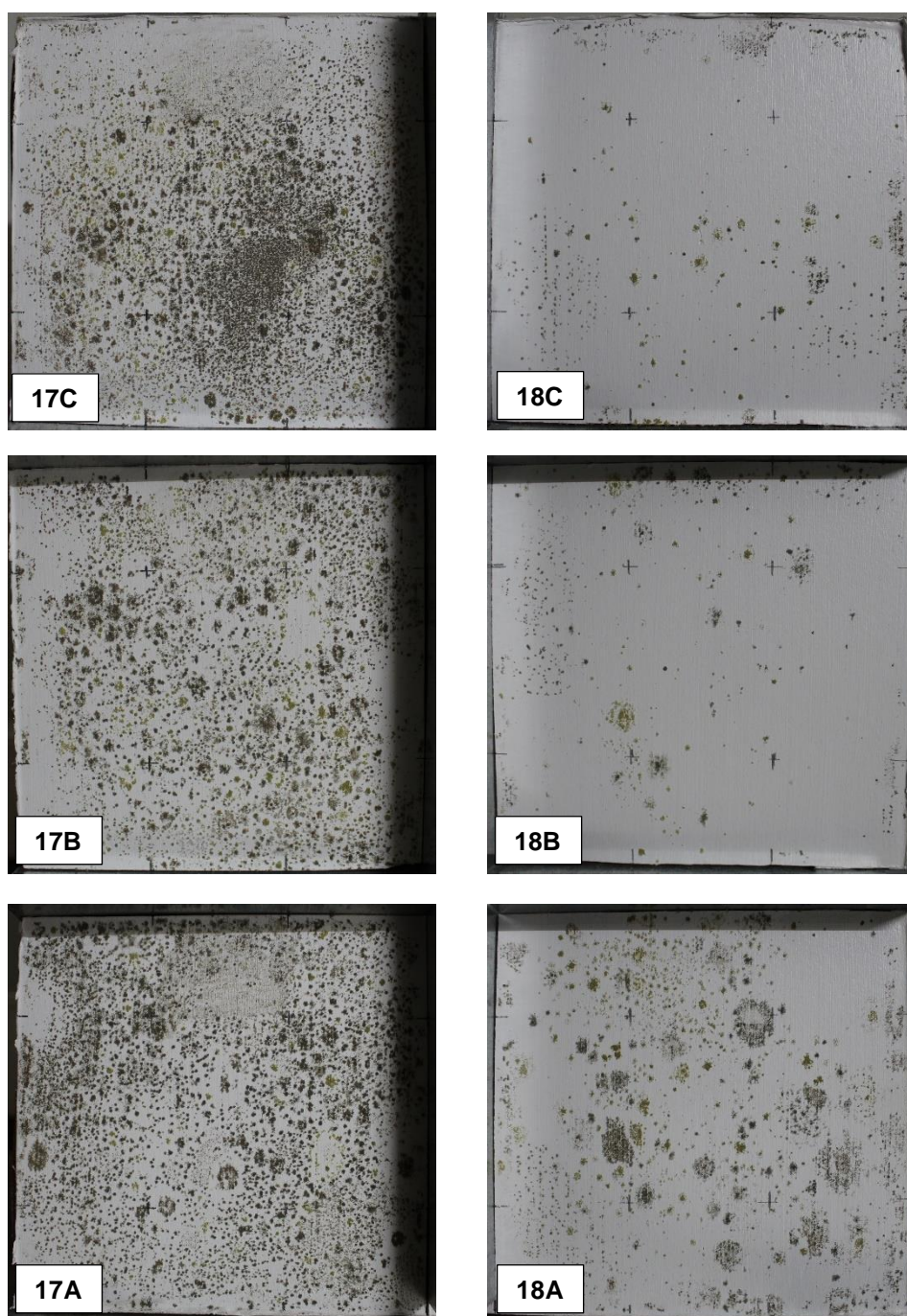
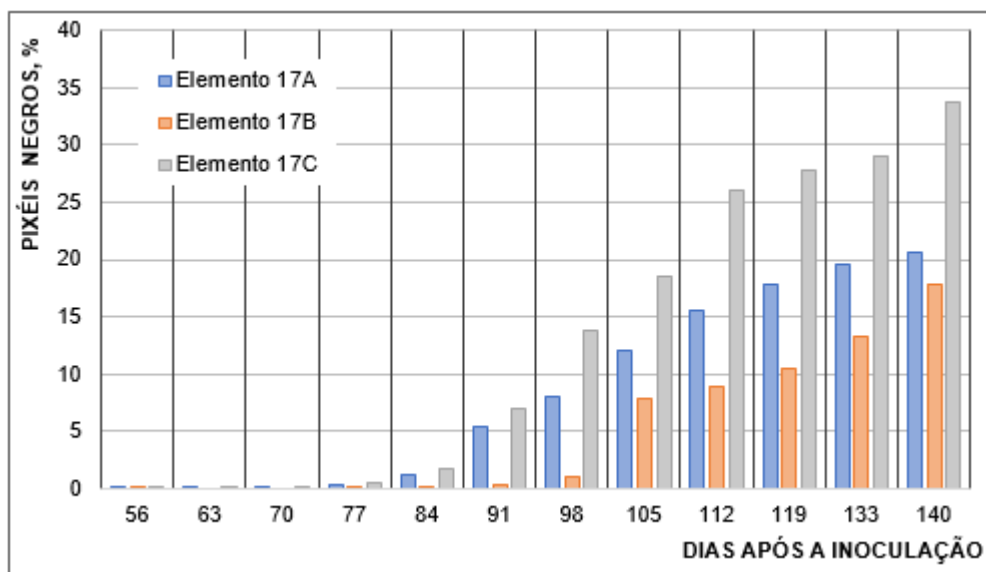


Figura 54 – Aspeto dos esquemas 17 e 18 do provete de gesso cartonado normal, aos 140 dias de ensaio

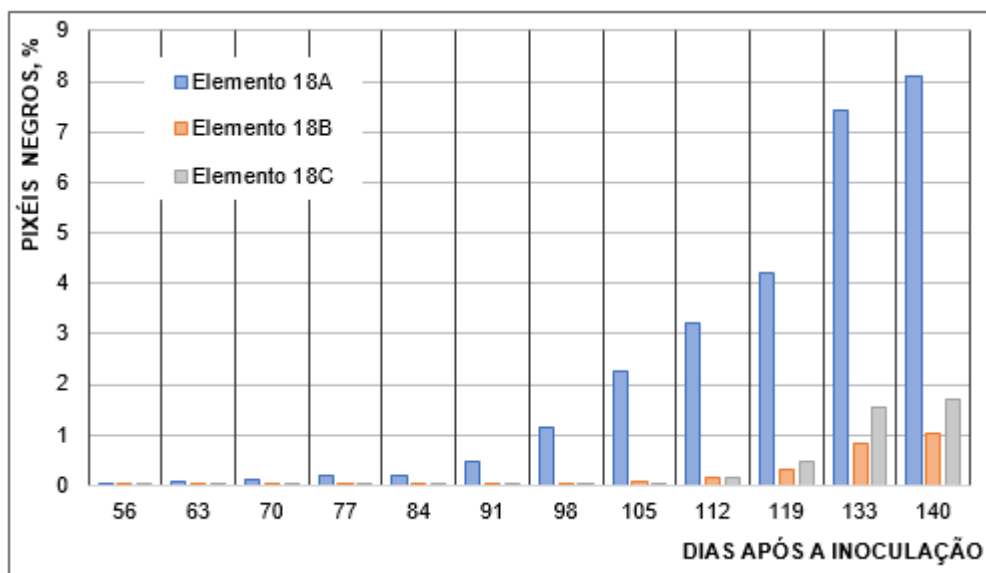
4.2.1.2. Procedimento II.2.1

Com base no registo fotográfico, procedeu-se à análise quantitativa do crescimento dos fungos. Apenas a zona central de cada elemento foi alvo desta análise, uma vez que as zonas restantes se destinavam à recolha de fungos.

A Figura 55 mostra a evolução da área contaminada por fungos nos elementos dos esquemas 17 e 18 referentes ao provete G1 (gesso cartonado normal). As escalas adequam-se a cada um dos esquemas, de forma a permitir uma melhor análise dos dados.



a)



b)

Figura 55 – Análise quantitativa do crescimento fúngico no provete G1: a) elementos 17A, 17B e 17C; b) elementos 18A, 18B e 18C

De salientar, que não existe coerência entre as semanas apresentadas como a primeira ocorrência de fungos e as semanas que indicam crescimento fúngico nos gráficos da Figura 55, visto que a inspeção visual considerou a área total do elemento.

Considerando o esquema 17, representado na Figura 55a, verifica-se que o elemento 17C apresenta aos 140 dias após a inoculação a maior percentagem de pixéis negros existindo fungos em cerca de 35% da área central do elemento. Entre os restantes elementos (17A e 17B), o que regista maiores quantidades de fungos, é o 17A, mostrando cerca de 20 % da superfície contaminada, enquanto que no elemento 17B a área visivelmente afetada não atinge 20%, no mesmo período.

No esquema 18, (Figura 55b), o elemento 18A é o que exhibe mais fungos, manifestando-se em apenas 8% da área em análise. Os restantes elementos não exibem praticamente fungos na zona central do elemento, uma vez que as áreas afetadas são menores que 2%. Relativamente, ao provete G1, destaca-se que a quantidade de fungos visíveis nas zonas centrais de cada elemento é significativamente maior no esquema 17.

4.2.2. GESSO CARTONADO HIDRÓFUGO (G2)

4.2.2.1. Procedimento II.1

O gesso cartonado hidrófugo (G2) foi o primeiro provete em estudo a exhibir fungos visíveis, uma vez que, 35 dias após o início do ensaio, se detetaram fungos na superfície do elemento 19A. Aos 42 dias de ensaio identificaram-se fungos no elemento 20A, seguido do elemento 20C onde se identificaram fungos aos 49 dias. Os elementos 19B e 19C apresentaram fungos aos 56 dias e, por último, o elemento 20B, que apenas exibiu estes microrganismos 70 dias após a inoculação.

Nas Figura 56 à Figura 61 mostra-se a proliferação dos fungos no provete G2, através do registo fotográfico de cada elemento pertencente aos esquemas 19 e 20. As Figura 56, Figura 57 e Figura 58 são referentes aos elementos 19A, 19B e 19C, respetivamente. As Figura 59, Figura 60 e Figura 61 referentes aos elementos 20A, 20B e 20C, respetivamente.

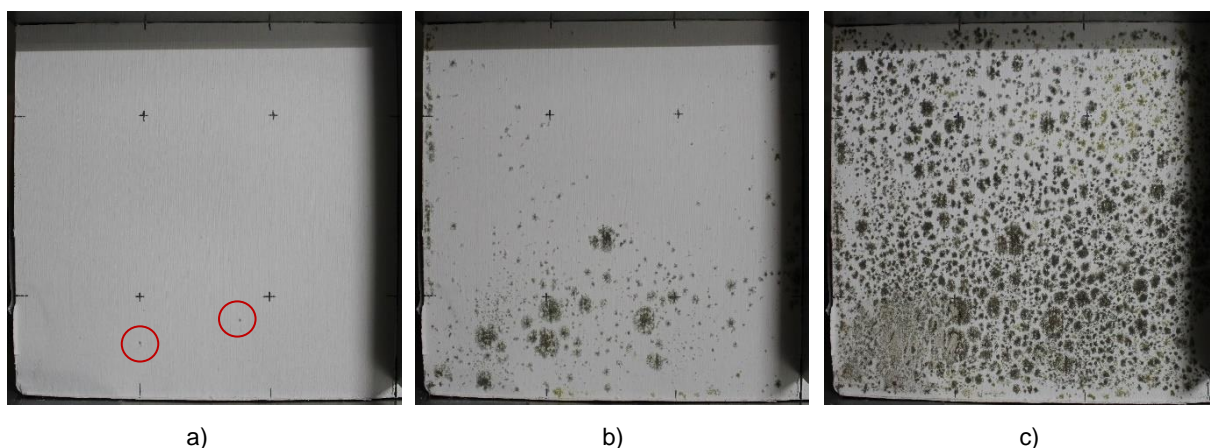


Figura 56 – Registo fotográfico do elemento 19A, do provete G2: a) aos 35 dias; b) aos 70 dias; c) aos 112 dias

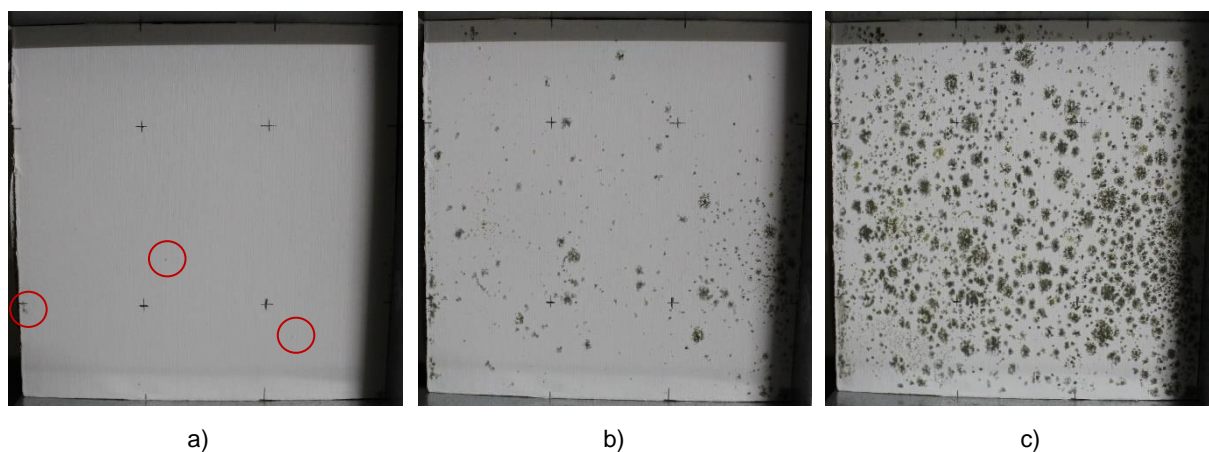


Figura 57 – Registo fotográfico do elemento 19B, do provete G2: a) aos 56 dias; b) aos 84 dias; c) aos 112 dias

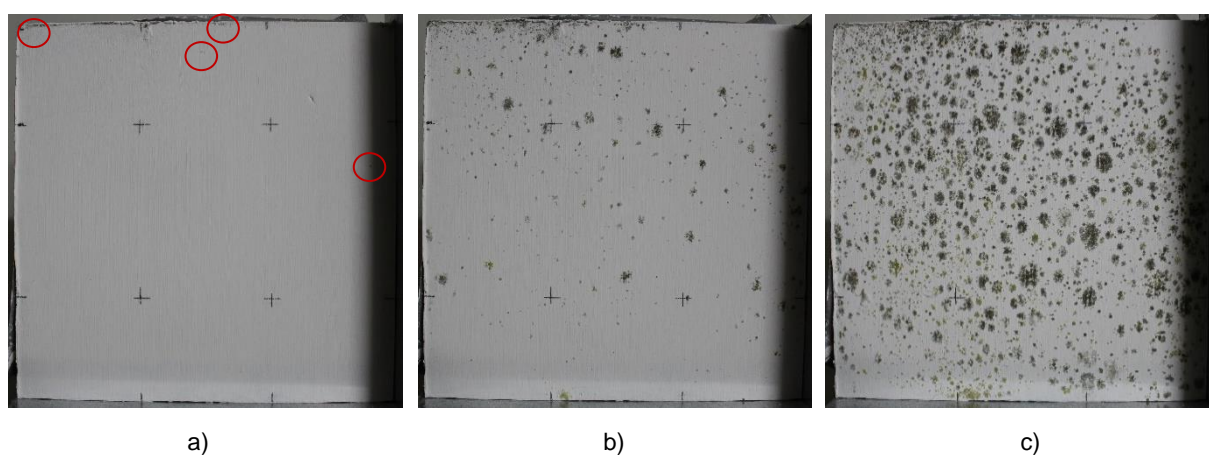


Figura 58 – Registo fotográfico do elemento 19C, do provete G2: a) aos 56 dias; b) aos 84 dias; c) aos 112 dias

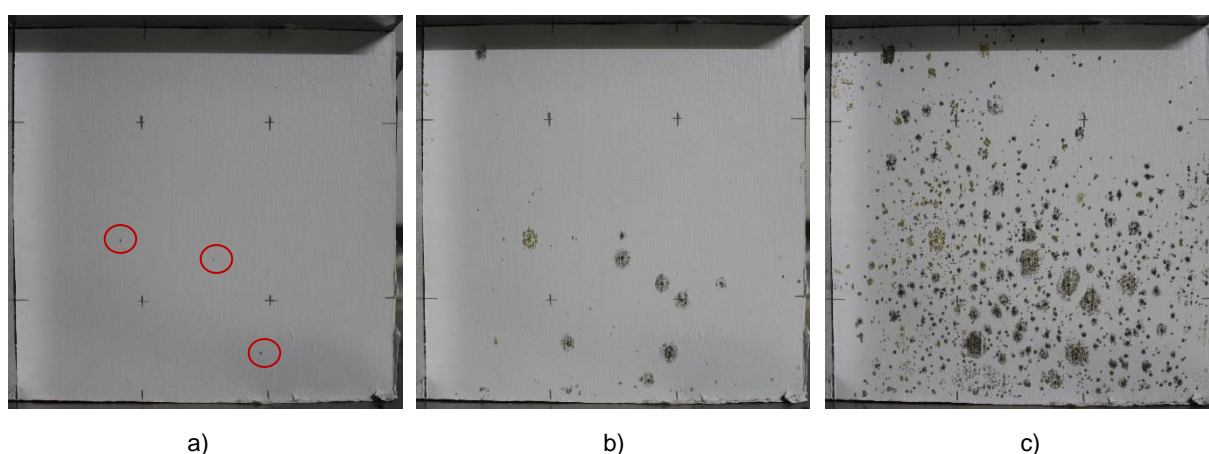


Figura 59 – Registo fotográfico do elemento 20A, do provete G2 a) aos 42 dias; b) aos 70 dias; c) aos 112 dias

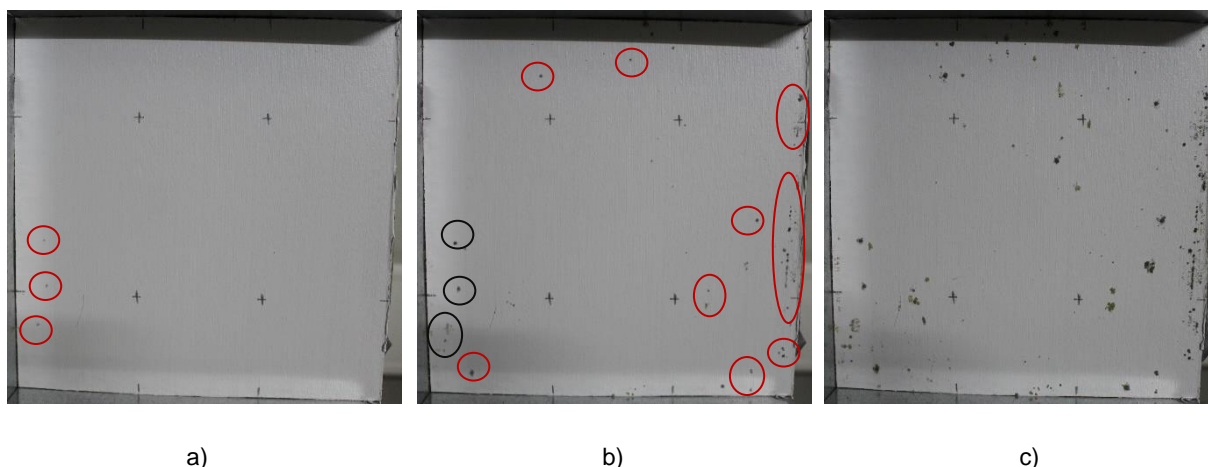


Figura 60 – Registo fotográfico do elemento 20B, do provete G2: a) aos 70 dias; b) aos 91 dias; c) aos 112 dias

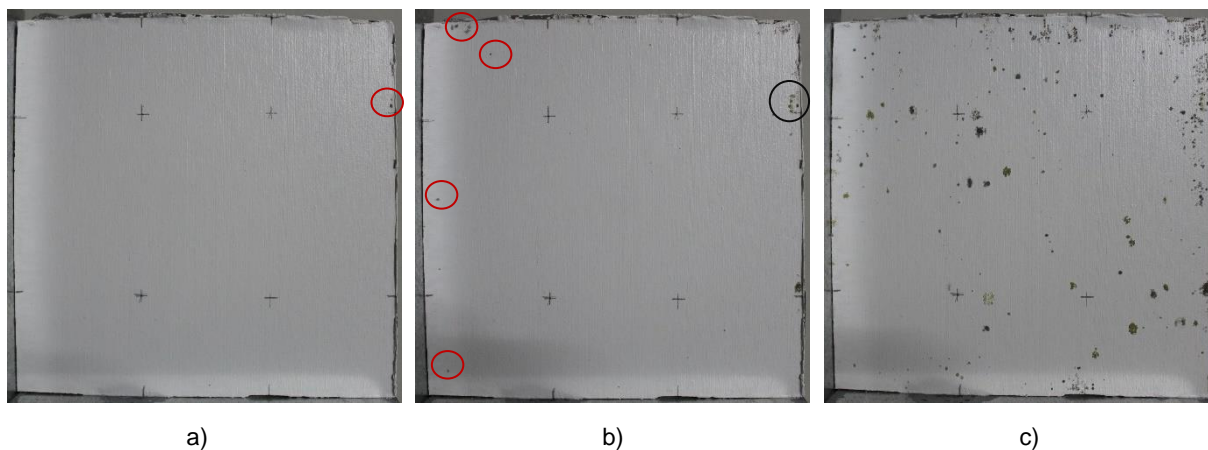


Figura 61 – Registo fotográfico do elemento 20C, do provete G2: a) aos 49 dias; b) aos 77 dias; c) aos 112 dias

Apresenta-se ainda o aspeto das superfícies dos esquemas (19 e 20) do provete de gesso cartonado hidrófugo, aos 140 dias de ensaio, na Figura 62.

Pela análise do crescimento de fungos no provete G2 (Figura 56 à Figura 62), constata-se que os elementos do esquema 19 encontram-se visivelmente mais contaminados do que os elementos do esquema 20. De todos os elementos exibidos, o 19A é o que exibe mais fungos na superfície do elemento, uma vez que a sua superfície está praticamente toda preenchida com microrganismos.

Com a representação de três fotografias de cada elemento, deteta-se que o modo de propagação dos fungos é diferente entre elementos do mesmo esquema. No entanto, observa-se que as primeiras manifestações de fungos acontecem, maioritariamente, nos extremos de cada elemento, tal como no provete G1, apesar de nos elementos na posição A (19A e 20A) aparecem também na zona central.

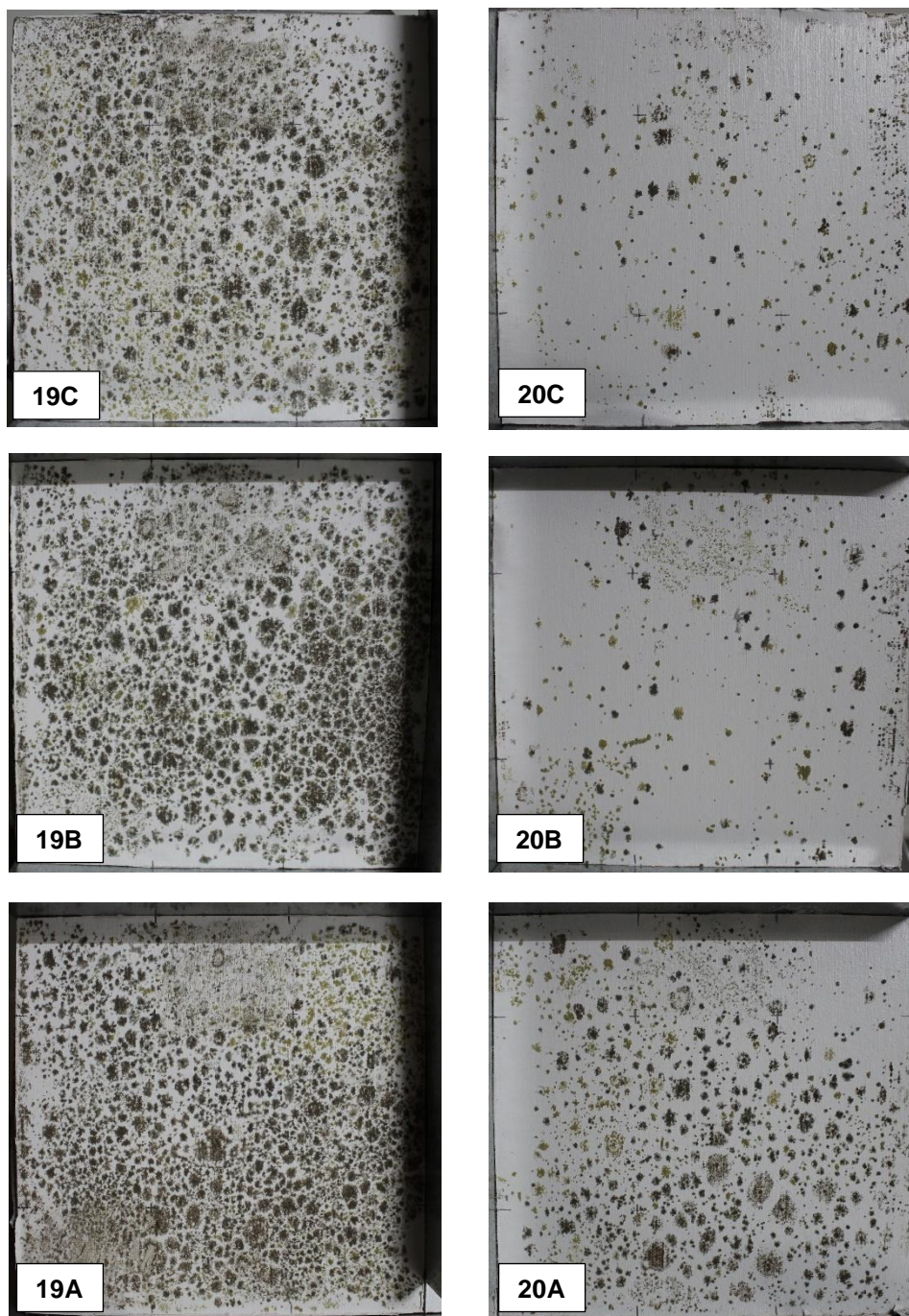


Figura 62 – Aspeto dos esquemas 18 e 20 do provete de gesso cartonado hidrófugo, aos 140 dias de ensaio

Observando atentamente as superfícies dos elementos, aos 112 dias e aos 140 dias de ensaio (Figura 62) identifica-se a presença de pelo menos dois tipos de fungos. Um deles apresenta uma cor mais esverdeada escura (1), e o outro uma cor mais amarelada (2), sendo que a mancha visível é diferente para cada um deles, como demonstra a Figura 63.

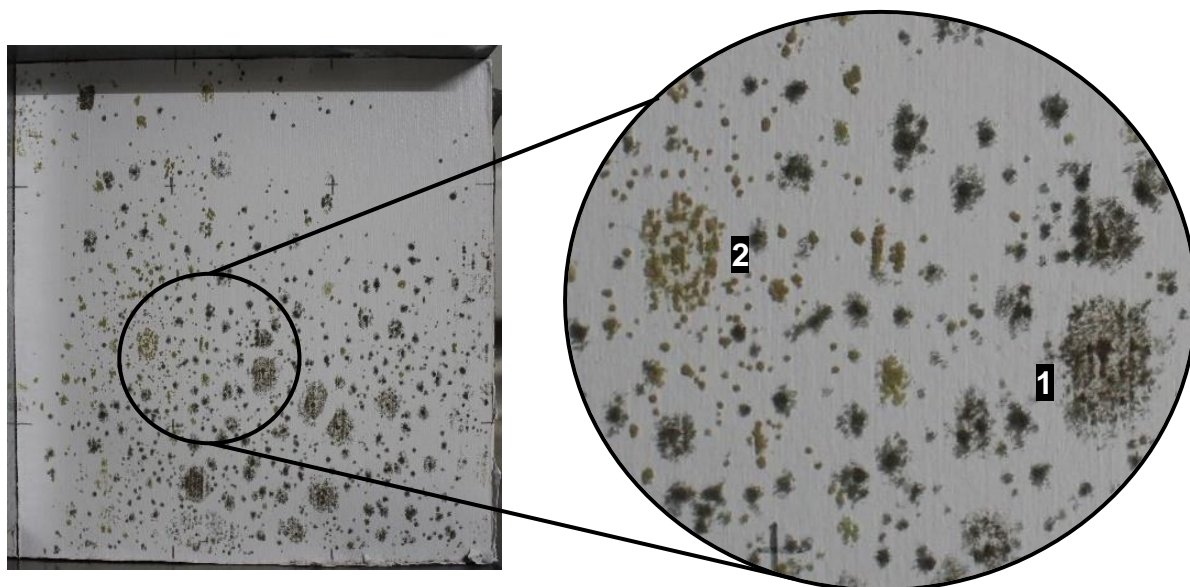
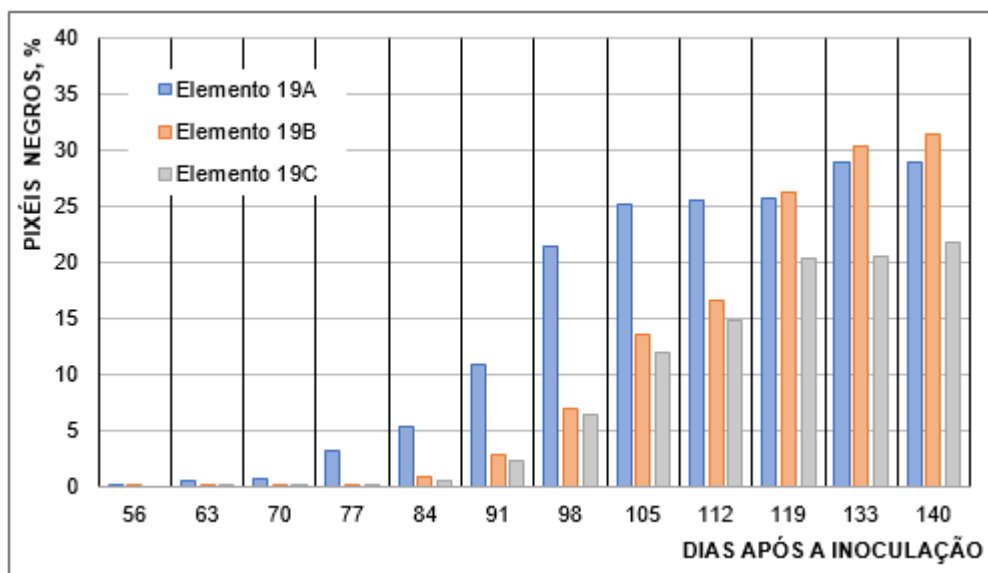


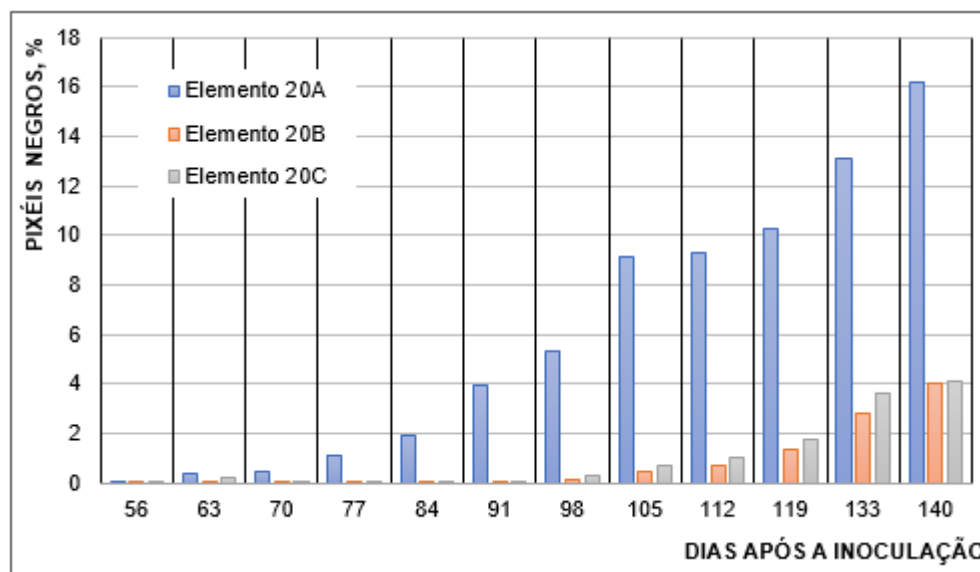
Figura 63 – Aproximação ao elemento 20A, para observação de dois tipos de fungos

4.2.2.2. Procedimento II.2.1

Tal como no provete G1, procedeu-se à análise quantitativa do desenvolvimento fúngico nos elementos pertencentes ao provete G2. A Figura 64 caracteriza a evolução da quantidade de fungos visíveis na zona central de cada elemento. As escalas adequam-se a cada um dos esquemas, de forma a permitir uma melhor visualização e análise dos dados.



a)



b)

Figura 64 – Análise quantitativa do crescimento fúngico no provete G2: a) elementos 19A, 19B e 19C; b) elementos 20A, 20B e 20C

Considerando o gráfico representado na Figura 64a, observa-se que o elemento 19A e 19B apresentam as maiores quantidades de fungos neste esquema, uma vez que ocupam cerca de 30% da área central do elemento ao fim de 140 dias de ensaio. Atendendo às diferenças entre os valores acumulados, constata-se que o maior crescimento fúngico, no elemento 19A, aconteceu dos 91 dias aos 98 dias de ensaio. O elemento 19C, no final do ensaio, apresentava mais de 20% de área contaminada.

Relativamente ao esquema 20 (Figura 64b), o elemento 20A destaca-se dos outros, por manifestar uma quantidade superior de fungos, sendo que exibe cerca de 16% da sua área central contaminada. Os elementos 20B e 20C, exibem menores quantidades de fungos, mostrando cerca de 4% de pixéis negros na área central do elemento.

Em elementos que apresentam percentagens de área contaminada significativas, como é o caso dos elementos 19A e 19B, verificou-se que no final do ensaio o crescimento de fungos não é adequadamente detetado pelo procedimento aplicado. Esta situação pode estar relacionada com o facto dos novos fungos apresentarem tons mais claros (não detetáveis no limite de RGB seleccionado) e se sobreporem aos existentes nas superfícies dos elementos.

A Figura 65 mostra a evolução do crescimento fúngico do elemento 19A, na sua zona central, avaliado qualitativamente e quantitativamente até aos 140 dias do ensaio. O procedimento II.2.1 mostra-se adequado, visto que à medida que aumentam os fungos na superfície (demonstrado nas fotografias), a área afetada em termos de pixéis negros também aumenta.

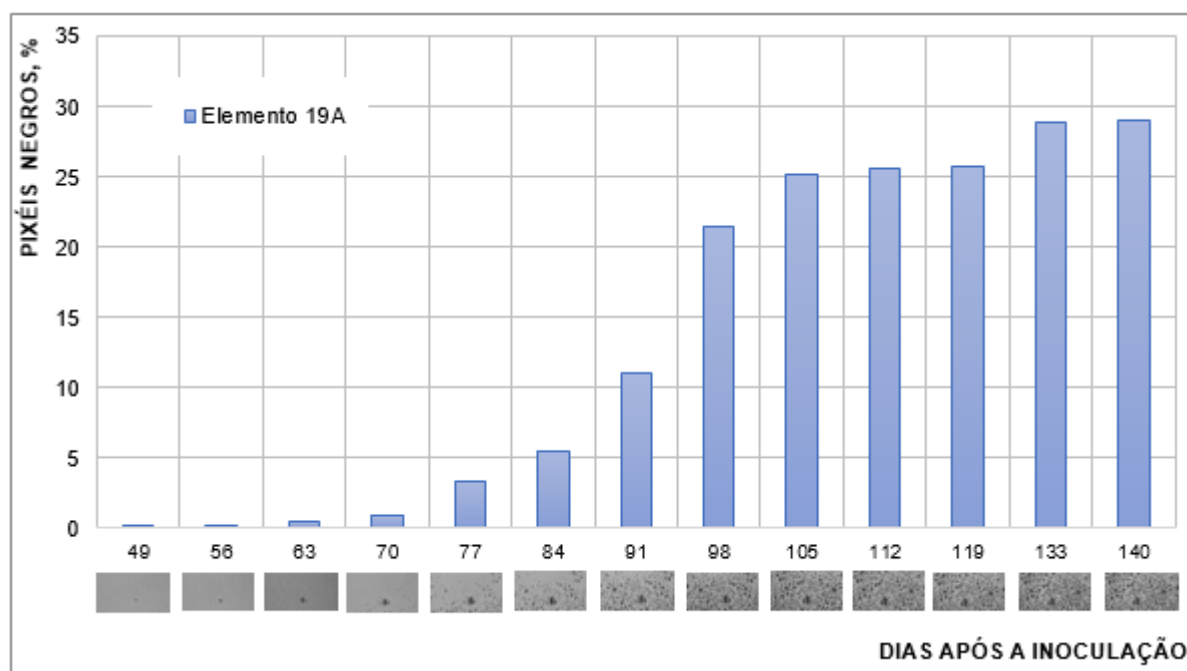


Figura 65 – Avaliação do crescimento fúngico no elemento 19A

4.2.3. PAREDE T1

4.2.3.1. Procedimento II.1

A parede T1 apenas manifestou fungos, em três dos 24 elementos da face A, sendo que estes pertenciam todos ao esquema 1. Os primeiros fungos visíveis foram detetados no elemento 1A, 49 dias após a inoculação. No elemento 1C identificaram-se microrganismos aos 56 dias, enquanto que no elemento 1B apenas se detetaram aos 77 dias de ensaio.

A Figura 66 mostra o crescimento fúngico no esquema 1, apresentando cada um dos elementos do esquema em três momentos do ensaio. Na fotografia, destacam-se as zonas com fungos visíveis. As outras manchas observadas nos elementos são de sujidade e poeiras, resultantes do transporte dos provetes para a câmara climática.



a)

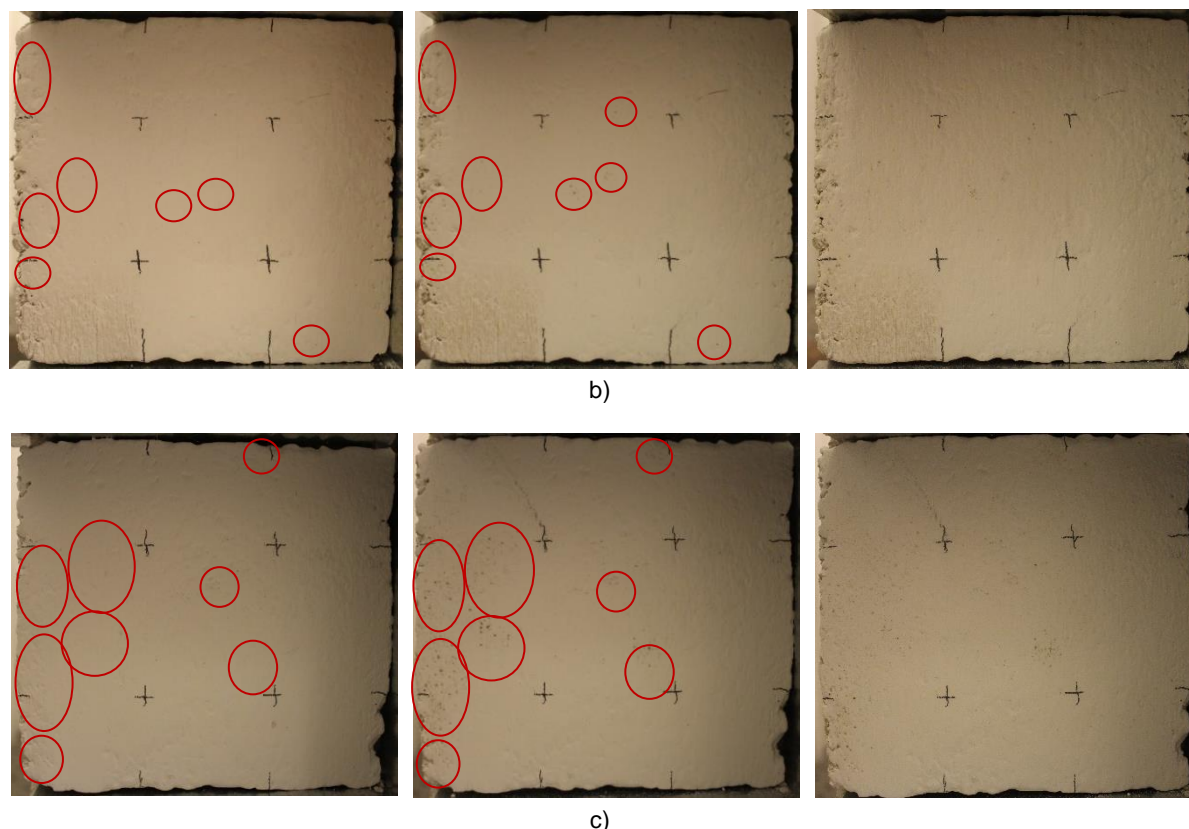


Figura 66 – Registro fotográfico do esquema 1, do provete T1 aos 0 dias, 112 dias e 140 dias de ensaio: a) elemento 1A; b) elemento 1B; c) elemento 1C

Considerando o esquema 1 (Figura 66), verifica-se que o elemento 1B manifesta menores quantidades de fungos visíveis. Para além disso, e tal como nos provetes de gesso, a manifestação de fungos ocorre maioritariamente nas extremidades dos elementos. Neste caso, observa-se que uma das extremidades dos elementos apresenta mais microrganismos, uma vez que esta constitui também a extremidade da parede. As chapas entre os elementos podem, de alguma forma, manter certas áreas mais protegidas da fixação dos esporos de fungos.

Relativamente aos restantes esquemas do provete T1, em nenhum se detetou visualmente a presença de fungos, tal como demonstra a Figura 67, que exhibe um elemento do esquema 7 no início e no fim do ensaio.



Figura 67 – Registro fotográfico de um elemento do esquema 7: a) aos 0 dias; b) aos 140 dias

4.2.3.2. Procedimento II.2.2

O procedimento para análise quantitativa do desenvolvimento fúngico difere, em alguns aspetos, do apresentado anteriormente para os provetes de gesso cartonado (procedimento II.2.1). Este procedimento apenas se aplicou aos elementos com manifestação de fungos visíveis e, portanto, somente ao esquema 1 deste provete (T1).

Para melhor interpretação dos dados e de forma a isolar o crescimento de fungos em cada uma das superfícies, a percentagem de negros na imagem correspondente ao dia que antecede a manifestação dos primeiros fungos, que corresponderá a sujidade e poeiras na superfície do elemento, foi subtraída às imagens posteriores.

Desta forma, a Figura 68, mostra o crescimento de fungos no esquema 1, na zona central de cada elemento.

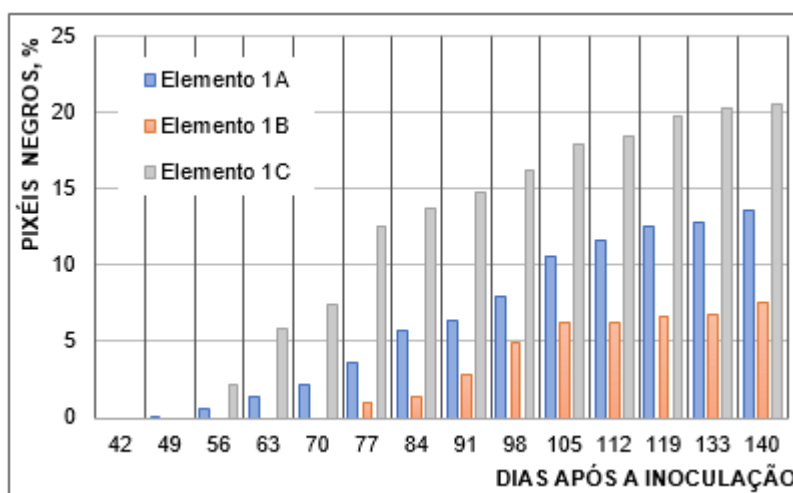


Figura 68 – Análise quantitativa do crescimento fúngico no esquema 1, do provete T1

A Figura 68 mostra que o elemento 1C apresenta a maior quantidade de fungos visíveis (cerca de 20%), sendo que o maior crescimento detetado ocorre entre os 70 e 77 dias após o início do ensaio, como se verifica pela diferença de acumulados. O elemento 1B mostra a menor área afetada, de cerca de 7%. Para além disso, constata-se que as primeiras manifestações de fungos, neste caso do esquema 1, ocorrem na zona analisada. O elemento 1A apresenta cerca de 14% de fungos visíveis na área em análise.

4.2.4. PAREDE T2

4.2.4.1. Procedimento II.1

Tal como a parede T1, na parede T2 apenas se detetou presença fúngica num dos esquemas, neste caso, no esquema 9. Neste esquema, a primeira manifestação destes microrganismos ocorreu no elemento 9C, após 49 dias da inoculação dos provetes. Nos elementos 9A e 9B identificaram-se os primeiros fungos aos 70 e aos 77 dias de ensaio, respetivamente.

A Figura 69 mostra a proliferação fúngica durante o ensaio no esquema 9, exibindo-se duas fotografias para cada elemento, sendo que uma foi retirada antes da inoculação e a outra no final do ensaio, aos 112 dias.

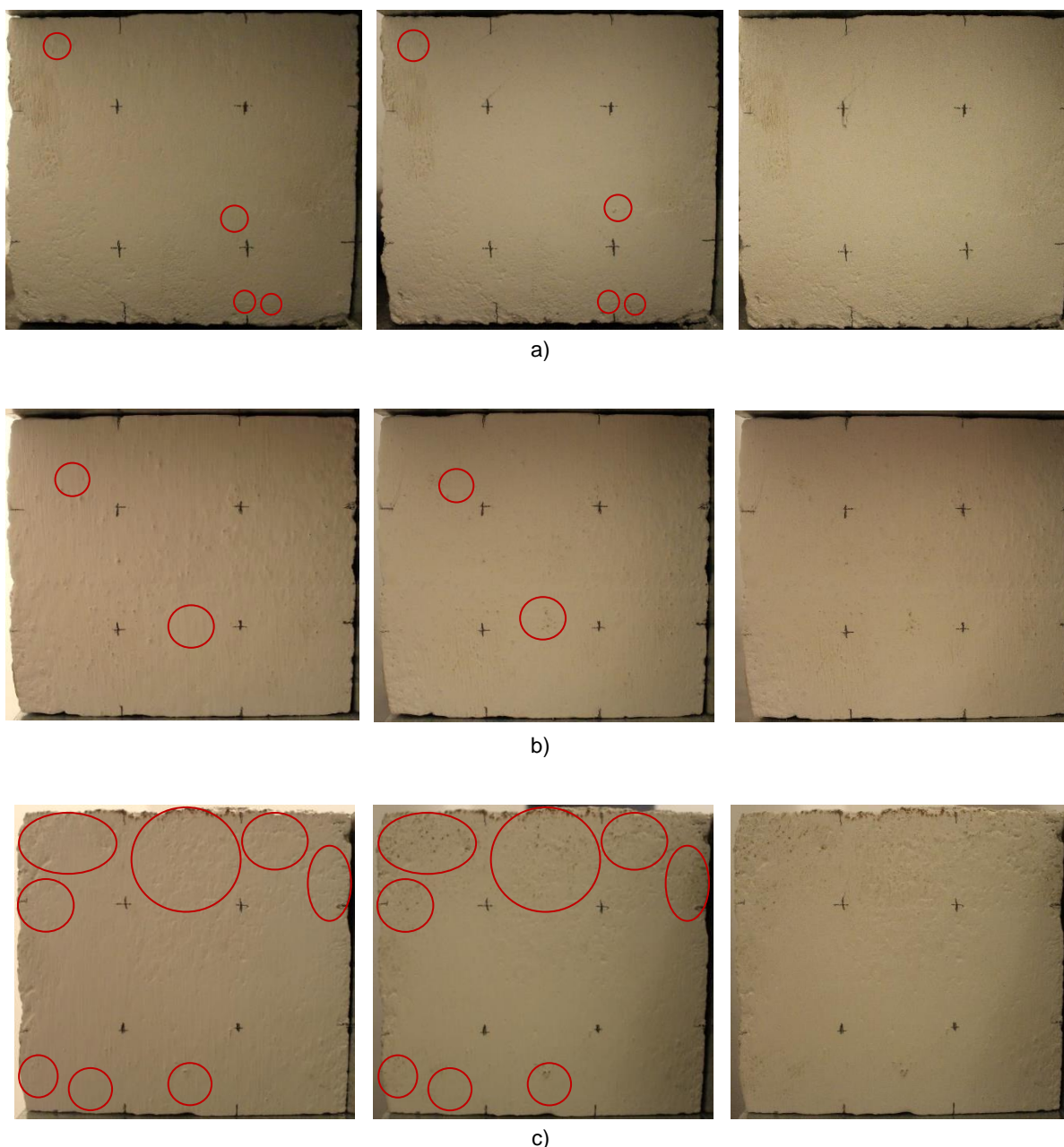


Figura 69 – Registo fotográfico do esquema 9, do provete T2, aos 0 dias, 112 dias e 140 dias de ensaio: a) elemento 9A; b) elemento 9B; c) elemento 9C

Observando os elementos do esquema 9 da parede T2 (Figura 69), verifica-se que o elemento 9C apresenta mais fungos na sua superfície, principalmente na parte superior do elemento. Nos restantes elementos (9A e 9B) a manifestação de fungos é bastante mais reduzida. A diferença entre os elementos pode ser justificada pela falta de chapa na zona superior do elemento, estando assim mais exposto, aumentando a probabilidade dos esporos se fixarem na sua superfície.

Os restantes esquemas pertencentes ao provete T2 (esquema 10 a 16) não exibiram quaisquer fungos nas suas superfícies. A Figura 70 demonstra um elemento, do esquema 16, em que se observa a ausência de fungos na superfície do elemento.



Figura 70 – Registro fotográfico de um elemento do esquema 16: a) aos 0 dias; b) aos 140 dias

4.2.4.2. Procedimento II.2.2

A análise quantitativa do crescimento fúngico nos elementos da parede T2 consistiu na aplicação do procedimento II.2.2 aos elementos do esquema 9, que apresentaram proliferação fúngica na zona central. Neste provete, ainda que apresente menos manchas iniciais, resultantes de sujidade e poeiras o método utilizado foi igual ao descrito anteriormente (a percentagem de pixéis negros da imagem correspondente ao dia anterior do aparecimento de fungos foi subtraída às imagens posteriores).

Apesar do elemento 9C apresentar fungos na sua superfície, estes não se localizam na zona central e, portanto, não foi incluído na análise. A Figura 71 mostra a evolução da quantidade de fungos visíveis na zona central, do elemento 9A e 9B.

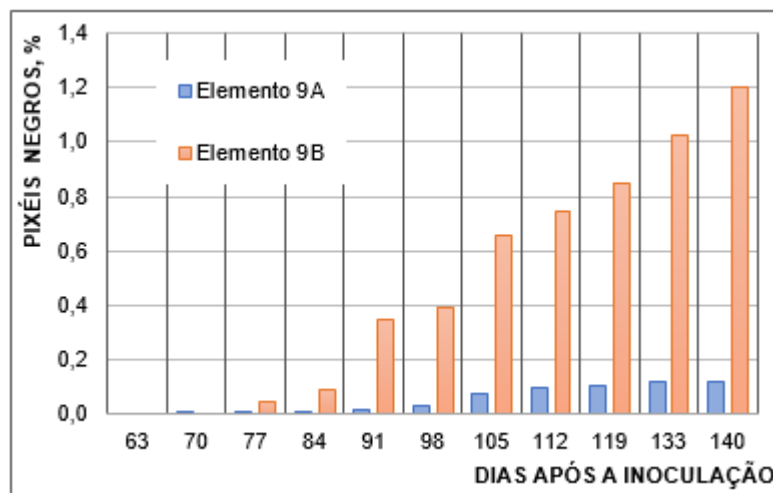


Figura 71 – Análise quantitativa do crescimento fúngico, no esquema 9 do provete T2

Verifica-se que a superfície central destes elementos se encontra pouco contaminada, uma vez que, no fim do ensaio, no elemento 9B apenas 1,2% da área exibe fungos. O elemento 9A tem somente uma área afetada, na zona em análise, de cerca de 0,1%.

Tal como no provete T1, também neste esquema as manifestações de fungos iniciais aconteceram na zona central, à exceção do elemento 9C.

4.3. SÍNTESE CRÍTICA

A manifestação de fungos ocorreu sobretudo nos provetes de gesso cartonado (G1 e G2), uma vez que estes mostraram as maiores quantidades de colónias de fungos através do procedimento I e do procedimento II. Nas paredes de tabique (T1 e T2) o desenvolvimento fúngico não se revelou tão significativo, sendo que ocorreu manifestação visível em apenas dois esquemas. Considerando apenas a face inoculada destes provetes, as recolhas revelaram maior quantidade de colónias de fungos no esquema 9, no entanto visualmente o esquema 1 mostrou-se mais contaminado na zona central dos elementos (Procedimento II.2.2).

A inoculação dos provetes foi importante para o sucesso do ensaio, uma vez que contaminou não só as superfícies dos elementos (da face inoculada), mas também o ar interior da câmara climática. O efeito da inoculação foi detetado nos esquemas com menores quantidades de colónias de fungos, uma vez que as faces inoculadas (face A), nestes casos, apresentavam quantidades superiores. Nos esquemas em que existe uma elevada quantidade de fungos, como é o caso dos provetes de gesso cartonado, o efeito da inoculação deixa de ser determinante, sendo que na maioria dos casos, a maior quantidade é detetada nas faces não inoculadas (face B).

As zonas do elemento selecionadas para a realização de recolhas, e respetiva ordem, podem ter condicionado os resultados obtidos, sobretudo nas paredes de tabique, uma vez que em muitos elementos o número de colónias de fungos diminuiu na quinta recolha (aos 112 dias). Recorde-se que o processo de contagem apenas considera os microrganismos vivos. Esta diminuição do número de colónias pode ainda estar relacionada com a fase de declínio da espécie. Nos provetes de gesso cartonado verifica-se que possivelmente os fungos ainda permanecem em fase de crescimento da espécie, uma vez que o número de colónias continua a aumentar com o decorrer do ensaio. As contagens indeterminadas, principalmente na quarta recolha (após 84 dias do início do ensaio) realizada no esquema 19 do provete de gesso cartonado hidrófugo, não permitiram uma análise mais criteriosa.

Os dados obtidos, relativamente ao número de colónias de fungos por elementos, foram inconclusivos para determinar a influência da posição do elemento no desenvolvimento dos fungos, quer no esquema, quer no interior da câmara climática.

Na maioria dos elementos, independentemente do provete a que pertencem, os primeiros fungos manifestaram-se principalmente nas extremidades do elemento, mostrando de certa forma que estas zonas são mais favoráveis ao desenvolvimento fúngico.

É importante considerar que o desenvolvimento de fungos depende de diversos fatores, e, portanto, as dimensões dos provetes, a sua posição no interior da câmara climática e o grau de inoculação poderão ter condicionado os resultados do ensaio.

5

DISCUSSÃO DE RESULTADOS

5.1. CONTAGEM DE UFC VS. INSPEÇÃO VISUAL

Tal como demonstrado no capítulo anterior, só se detetaram os fungos nas superfícies dos elementos acima de um determinado número colónias de fungos. Este facto pode ser explicado pela primeira fase de crescimentos dos fungos (germinação dos esporos) não ser visível a olho nu e ser necessário um número mínimo de colónias para estes serem observáveis. Pretendeu-se determinar o número de colónias para as quais as superfícies dos esquemas testados apresentam fungos visíveis. Para tal, foram apenas analisadas as contagens de UFC referentes à face A (inoculada), uma vez que apenas esta face foi alvo de inspeção visual.

Para além de as recolhas se realizarem em zonas distintas, podendo não coincidir com o local da primeira manifestação fúngica, os momentos em que esta ocorreu em cada um dos elementos foram também diferentes. Assim, para esta análise optou-se por considerar a média dos dias em que se identificou desenvolvimento de fungos pela primeira vez nas superfícies de cada um dos esquemas. Para cada média estimou-se o número de colónias de fungos presentes no esquema, que corresponde ao número de colónias mínimo para que os fungos sejam observáveis.

No caso do gesso cartonado normal, o esquema 17, aos 56 dias de ensaio o número de colónias de fungos estimado foi de 5 UFC/cm². No esquema 18, verificou-se que 63 dias após a inoculação, o número de colónias estimadas eram cerca de 94 UFC/cm², tal como demonstrado na Figura 72. Verifica-se que o desenvolvimento de fungos no esquema 18 foi mais tardio, requerendo um número de colónias superior para serem observáveis a olho nu. As diferenças entre os dois esquemas deste provete provavelmente estão associadas às características dos sistemas de pintura de cada um, uma vez que o substrato é o mesmo para ambos.

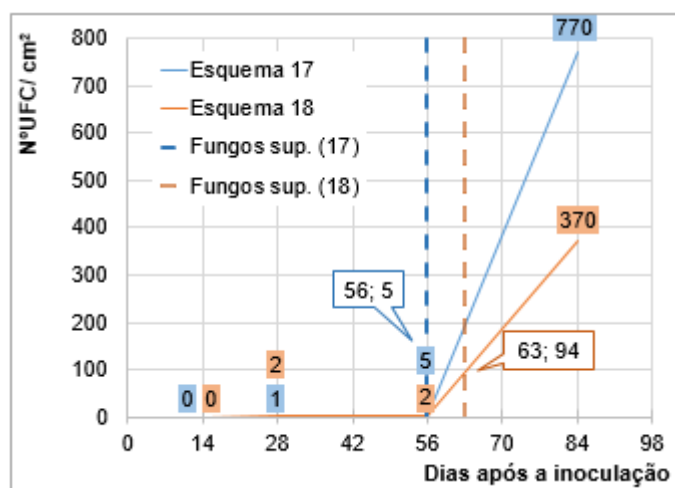


Figura 72 – Nº de UFC/cm² aos 56 e 63 dias de manifestação fúngica nos esquemas 17 e 18 (proвете G1), respectivamente

No caso do gesso cartonado hidrófugo, o primeiro aparecimento de fungos visível ocorreu no esquema 19, sendo que o número de colônias contabilizado, aos 49 dias de ensaio, foi de 20 UFC/cm². No esquema 20, a presença de fungos visíveis detetou-se posteriormente, sendo que o número de colônias estimado aos 54 dias de ensaio, foi de 282 UFC/cm² (Figura 73).

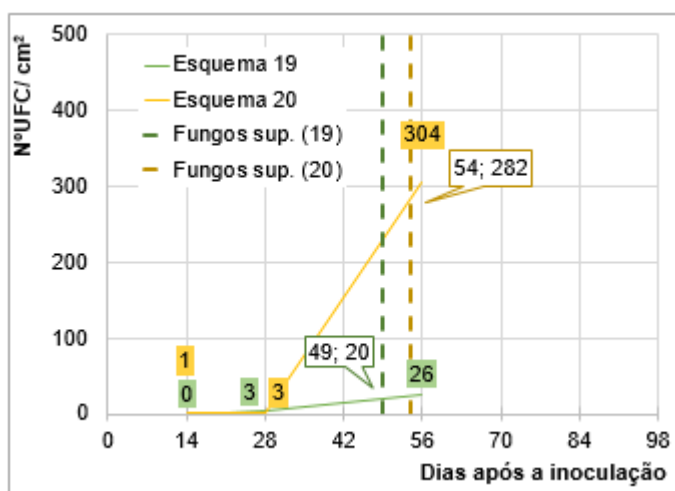


Figura 73 – Nº de UFC/cm² aos 49 e 54 dias de manifestação fúngica nos esquemas 19 e 20 (proвете G2), respectivamente)

Em ambos os esquemas de gesso cartonado hidrófugo, verifica-se uma diferença entre o número de colônias necessárias para que os fungos sejam observáveis. Esta diferença pode ser justificada por determinadas características do sistema de pintura de cada um dos esquemas.

Os esquemas 17 e 19, que têm o mesmo sistema de pintura, apresentam as quantidades de colônias de fungos mais baixas em cada um dos provetes. As maiores quantidades verificam-se para o esquema 18 no provete de gesso cartonado normal, e para o esquema 20 pertencente ao provete de gesso cartonado hidrófugo. Neste último sistema foi necessária uma maior quantidade de colônias de fungos para serem observáveis a olho nu, o que pode estar relacionado com as características do seu sistema de pintura. O

sistema de pintura aplicado no esquema 18 e 20 é o mesmo, mostrando que possivelmente a inibição do desenvolvimento dos fungos é mais eficaz quando este é aplicado em substratos de gesso cartonado hidrófugo.

Nos restantes provetes em estudo, apenas se detetou presença fúngica em dois dos esquemas, o esquema 1 no caso da parede T1, e o esquema 9 no caso da parede T2. Estes esquemas têm o mesmo sistema de pintura, diferindo apenas no substrato, uma vez que na parede T1 se utilizou uma argamassa à base de cal, e na parede T2 uma argamassa bastarda (cimento e cal).

Assim, determinou-se o número de colónias requeridas para a manifestação de fungos nas superfícies de cada um dos esquemas, como demonstrado na Figura 74. No esquema 1, o valor de colónias de fungos estimado foi de 1606 UFC/cm², aos 61 dias de ensaio (Figura 74a). Para o esquema 9, o número estimado foi de 2733UFC/cm², aos 65 dias (Figura 74b).

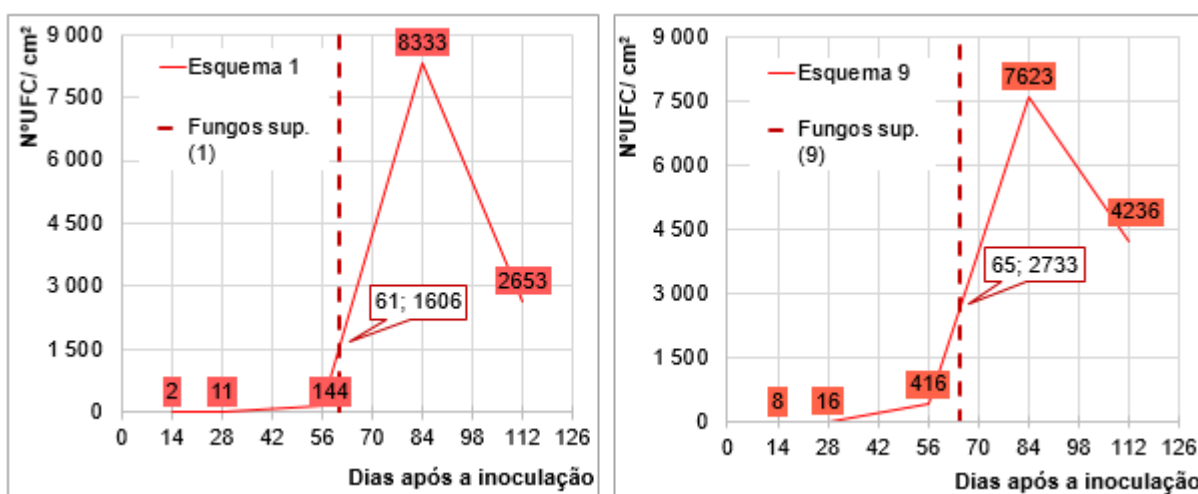


Figura 74 – Nº de UFC/cm² ao dia médio de manifestação fúngica: a) esquema 1 do provete T1, aos 61 dias; b) esquema 9 do provete T2, aos 65 dias

Nos esquemas avaliados o número de colónias de fungos foi ligeiramente maior no caso do esquema 9. Ambos os esquemas apresentaram valores superiores aos verificados nas placas de gesso cartonado (Figura 72 e Figura 73). Este facto pode estar relacionado com rugosidade e porosidade das superfícies, uma vez que os provetes de gesso cartonado apresentam superfícies consideravelmente mais lisas do que as paredes que têm superfícies mais irregulares e porosas. No caso das paredes de tabique, as hifas dos fungos podem estar penetradas no substrato, dificultando desta forma a sua visualização.

5.2. ANÁLISE DOS SISTEMAS DE PINTURA

5.2.1. GESSO CARTONADO NORMAL (G1)

Verificou-se que os sistemas de pintura aplicados no substrato de gesso cartonado normal não inibem de forma eficaz, nas condições do ensaio, o desenvolvimento de fungos nas suas superfícies. Essa consideração é fundamentada devido ao facto de se detetarem quantidades elevadas destes microrganismos, quer através da recolha de fungos, quer através da inspeção visual.

Apesar disso, entre os dois sistemas de pintura, o esquema 17 apresenta um maior número de colónias, tal como demonstrado na Figura 75, que indica o crescimento do número médio de colónias de fungos em cada um dos esquemas, considerando as duas faces do provete, inoculada e não inoculada. A Figura

76 exibe a área média, de cada esquema visivelmente contaminada por fungos na face inoculada (na zona central das superfícies dos elementos).

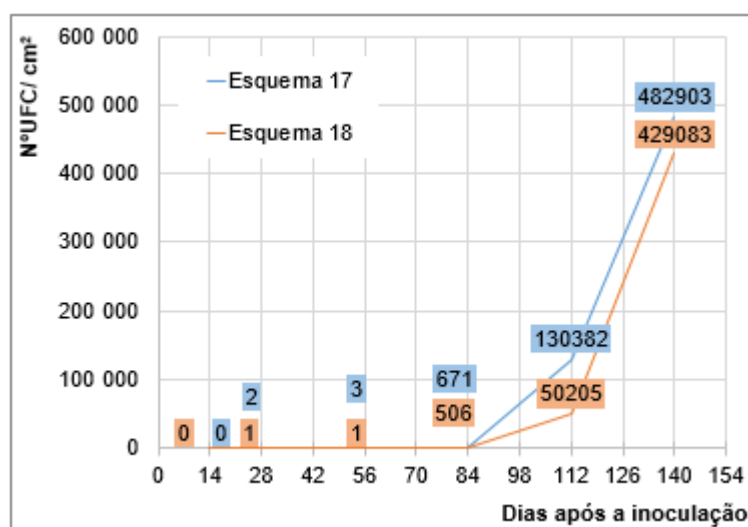


Figura 75 – Crescimento de colônias de fungos no provete G1

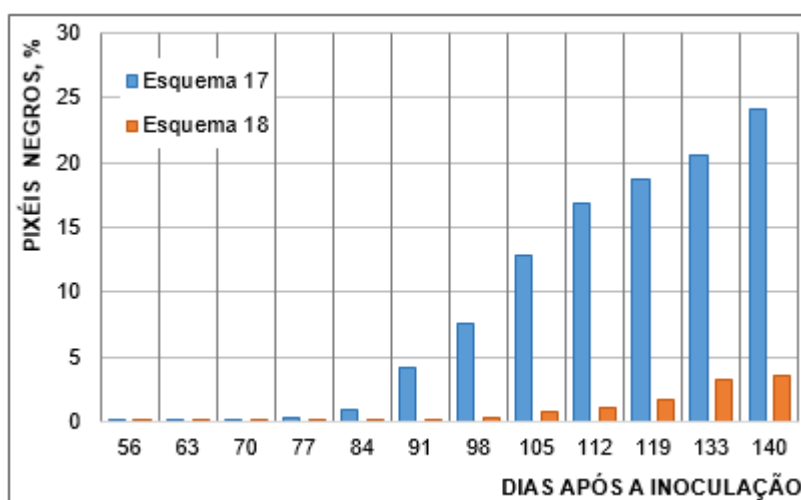


Figura 76 – Área contaminada por fungos visíveis, em percentagem, no provete G1

Verifica-se, pela observação da Figura 75, que o número de colônias é aproximado em ambos os sistemas de pintura aplicados neste substrato (G1), sendo que o esquema 17 apresentou o número máximo de colônias. Apesar das quantidades serem aproximadas em ambos os esquemas, visualmente a manifestação de fungos apresentou uma maior discrepância. No esquema 18 a área contaminada por fungos visíveis foi muito menor do que no caso do esquema 17.

O esquema 17 é composto pela tinta D, usada como primário, e pela tinta H, utilizada no acabamento final. O esquema 18 utiliza o mesmo primário do anterior (tinta D) e, como acabamento final, a tinta I. As tintas H e I coincidem na natureza estireno-acrílica do ligante utilizado e no pH que conferem à superfície em que são aplicadas, com valores compreendidos entre 8 e 9. Diferem no PVC (%) e, consequentemente, têm graus de brilho diferentes, sendo mate no caso da tinta H e acetinado no caso da tinta I, e níveis de permeabilidade ao vapor de água igualmente distintos, permeabilidade alta para a

tinta H e média para a tinta I. Para além das características descritas a tinta D tem elevada proteção fúngica, tal como a tinta I. A tinta H tem uma baixa proteção fúngica. Neste substrato o número de colónias máximo assim como a maior quantidade de fungos visíveis ocorreu no sistema de pintura composto pela tinta D e tinta H.

5.2.2. GESSO CARTONADO HIDRÓFUGO (G2)

Tal como na placa de gesso cartonado normal, os sistemas de pintura aplicados na placa de gesso cartonado hidrófugo revelaram uma elevada quantidade de colónias de fungos em ambos os esquemas. Os sistemas de pintura aplicados neste provete foram iguais aos aplicados no provete G1, ou seja, esquema 19, com a tinta D e a tinta H, e esquema 20 com a tinta D e a tinta I.

A Figura 77 e Figura 78, mostram a evolução do número de colónias de fungos e da área visivelmente contaminada, respetivamente, em cada um dos esquemas deste provete ao longo do ensaio.

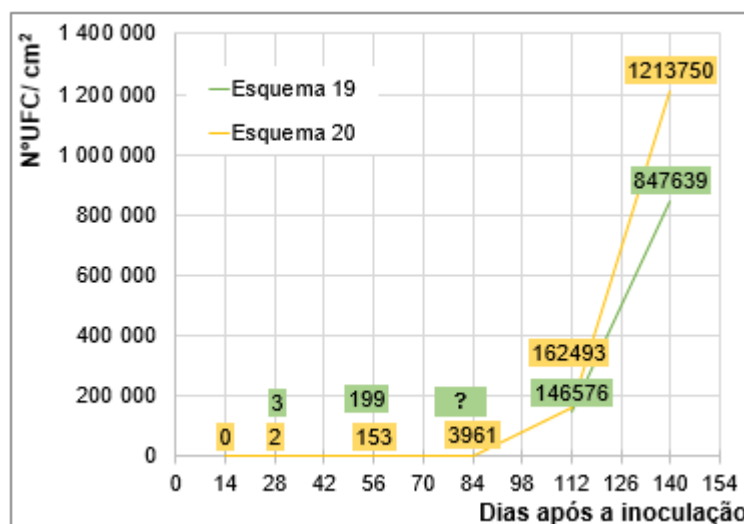


Figura 77 – Crescimento de colónias de fungos no provete G2

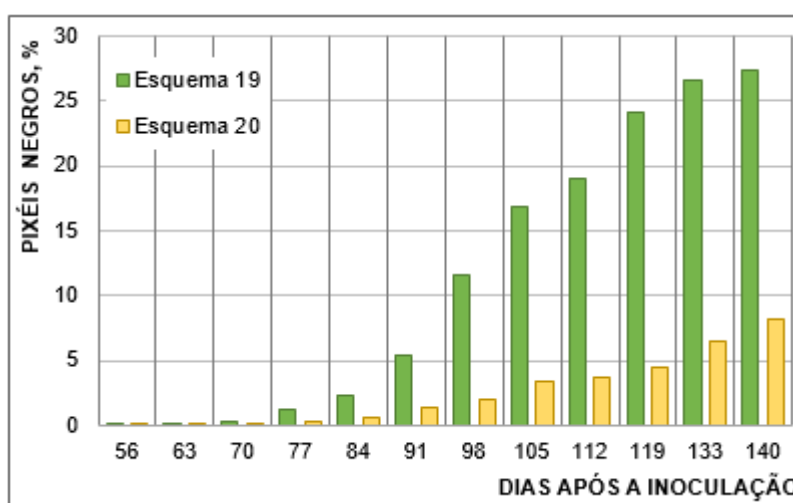


Figura 78 – Área contaminada por fungos visíveis, em percentagem, no provete G2

As recolhas de fungos indicam um número superior de colónias no esquema 20, no entanto, visualmente este esquema apresentou uma menor manifestação de fungos na sua superfície. Esta diferença entre os procedimentos pode ter ocorrido devido ao facto de as colónias contabilizadas serem somente as vivas, contrariamente à inspeção visual que capta todos os microrganismos nas superfícies, vivos e não vivos. O esquema 19 pode, portanto, exibir fungos sem vida na sua superfície, uma vez que os primeiros fungos a serem visivelmente detetados no ensaio foram identificados neste esquema. Para além disso, recorde-se que a inspeção visual apenas considera as faces inoculadas e as zonas centrais de cada elemento, no entanto se a face não inoculada fosse incluída no procedimento II.2.1 (análise quantitativa dos fungos visíveis), provavelmente não se verificava uma diferença tão acentuada.

Tal como no gesso cartonado normal, para o substrato de gesso cartonado hidrófugo, nas condições do ensaio, verifica-se que a manifestação de fungos visíveis é mais intensa no sistema de pintura composto pela tinta D e tinta H. O sistema de pintura constituído pela tinta D e tinta I apresentam visualmente menos quantidades de fungos apesar do número elevado de colónias de fungos detetado através das recolhas realizadas (procedimento I).

5.2.3. PAREDE T1

Neste provete, rebocado com argamassa à base de cal, testaram-se oito sistemas de pintura distintos, englobando tintas de cal, tintas de silicatos e tintas de resinas orgânicas como acrílicas, vinílicas e estireno-acrílicas. Essas tintas têm baixas, médias ou elevadas proteções fúngicas.

Através das recolhas de fungos, identificou-se o esquema 1 como o menos eficaz na inibição da proliferação de fungos, apresentando uma quantidade de colónias de fungos consideravelmente elevada comparativamente aos restantes esquemas deste provete (T1), como demonstra a Figura 79.

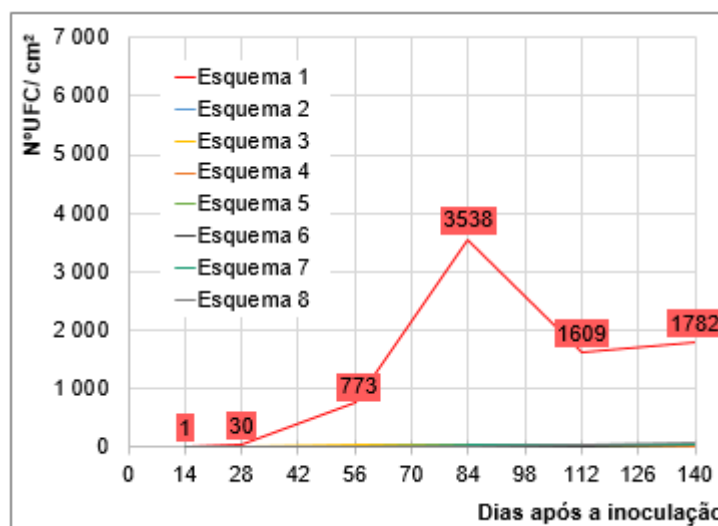


Figura 79 – Evolução do número de colónias de fungos no provete T1

O esquema 1 foi o único esquema desta parede (T1) onde se detetaram fungos visíveis, contaminando cerca de 14 % da área em análise (Figura 80). O seu sistema de pintura é constituído pela tinta A (primário) e a tinta E (acabamento), formuladas com resinas acrílicas e com cal apagada, respetivamente. Em mais nenhum esquema da parede T1 são aplicadas as tintas A e E.

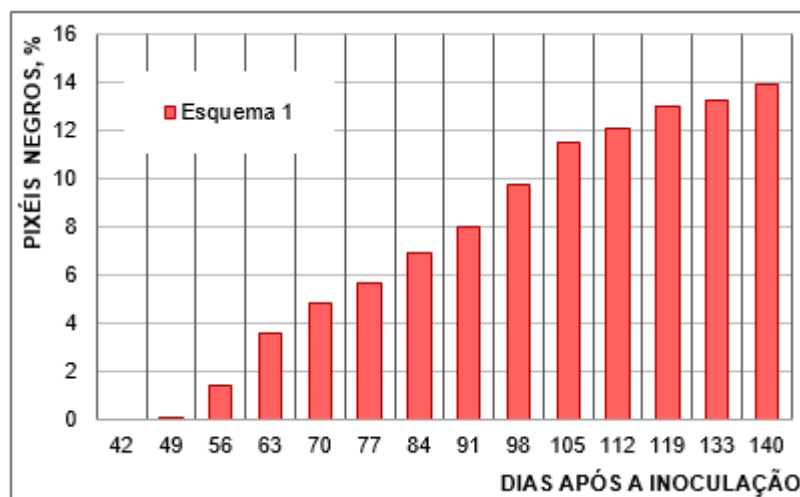


Figura 80 – Área contaminada por fungos visíveis, em percentagem, no esquema 1 do provete T1

As tintas A e a tinta E são indicadas para substratos de cal, sendo que ambas apresentam baixa proteção fúngica. Para além disso, conferem às superfícies valores de pH superiores a 12. Os valores elevados de pH não se mostraram suficientes para inibir a proliferação da espécie de fungos inoculada. No entanto, os valores de pH das superfícies, podem ter sido alterados, quer pela atividade dos fungos, quer por efeitos de carbonatação ao longo do ensaio.

A Figura 81 exibe a evolução do número médio de colónias nos restantes esquemas deste provete, considerando as duas faces da parede (face inoculada e não inoculada), ao longo do ensaio.

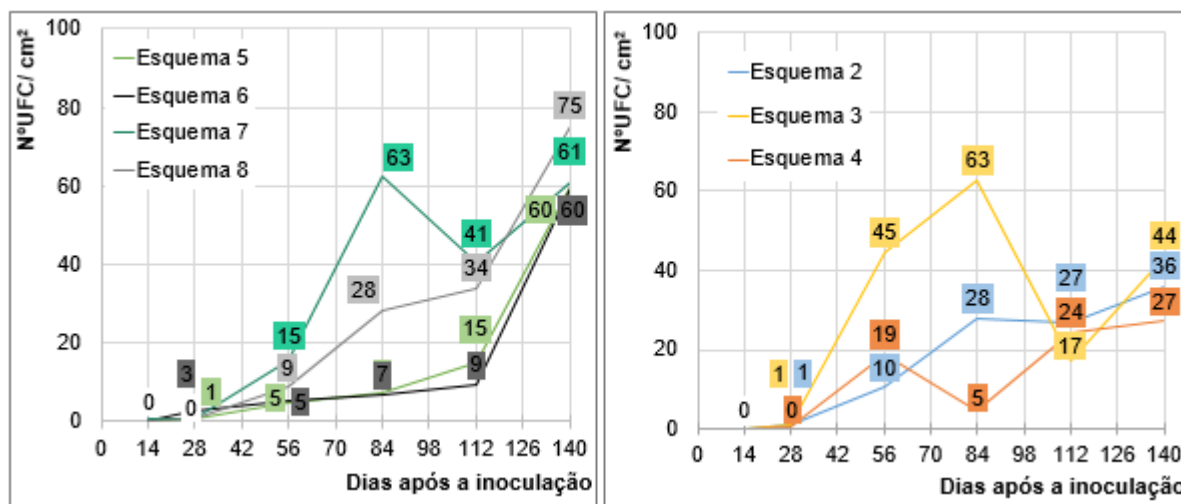



Figura 81 – Evolução do número de colónias de fungos nos esquemas 2 ao 8 do provete T1

Como o número de colónias de fungos sofre algumas oscilações em certos sistemas, optou-se por analisar o comportamento de cada um dos sistemas de pintura considerando o seu valor médio de colónias máximo registado durante todo o ensaio. Assim, no caso dos esquemas 3 e 7 considerou-se o número de colónias de fungos contabilizados na quarta recolha, realizada aos 84 dias de ensaio, enquanto que nos restantes esquemas (2, 4, 5, 6 e 8) optou-se pelos valores da sexta recolha (realizada aos 140 dias). Desta forma obteve-se, por ordem decrescente, os valores indicados na Figura 82.



Esquema	UFC/cm ²	Sistema de Pintura
Esquema 1	3538	Tinta A + Tinta E
Esquema 8	75	Tinta D + Tinta I
Esquema 3	63	Tinta C + Tinta G
Esquema 7	63	Tinta D + Tinta H
Esquema 5	60	Tinta C + Tinta I
Esquema 6	60	Tinta D + Tinta G
Esquema 2	36	Tinta B + Tinta F
Esquema 4	27	Tinta C + Tinta H

Figura 82 – Sistemas de pintura aplicados no provete T1

Verifica-se, pela observação da Figura 82, que a quantidade de colónias de fungos contabilizada nos esquemas 2 a 8 é muito menor relativamente à detetada no esquema 1, sendo que em nenhum deles se observaram fungos nas suas superfícies. Ainda assim, perante as condições do ensaio, o sistema de pintura que apresentou menos colónias de fungos é composto pela tinta C que apresenta uma proteção fúngica média, e pela tinta H que tem uma proteção fúngica baixa. A tinta C é de natureza acrílica e a tinta H de natureza estireno-acrílica, e conferem à superfície um valor de pH compreendido entre 8 e 9. Este sistema de pintura apresenta uma permeabilidade ao vapor de água alta.

O sistema de pintura constituído pelas tintas de silicatos, tinta B e tinta F, apresentaram um número de colónias também baixo. A tinta B apresenta uma proteção fúngica baixa, enquanto que a tinta F possui uma proteção fúngica média. Conferem à superfície um valor de pH superior a 12 e uma alta permeabilidade ao vapor de água.

Os restantes sistemas de pintura aplicados no substrato com argamassa de cal indicaram um número de colónias semelhante, sendo compostos pelas tintas C ou D como primário, e tintas G, H ou I como acabamento.

5.2.4. PAREDE T2

Nesta parede, aplicaram-se os mesmos oito sistemas de pintura que no provete anterior, sendo que o substrato difere no tipo de argamassa utilizada. O provete T2 utilizou argamassa bastarda de cal e cimento.

Tal como no provete anterior, as recolhas de fungos indicaram uma elevada quantidade de colónias num dos esquemas da parede. Neste caso o esquema 9, como se pode observar pela Figura 83. O esquema 9, foi único desta parede a apresentar fungos visíveis, com cerca de 0,7% de área contaminada na zona analisada, como mostra a Figura 84.

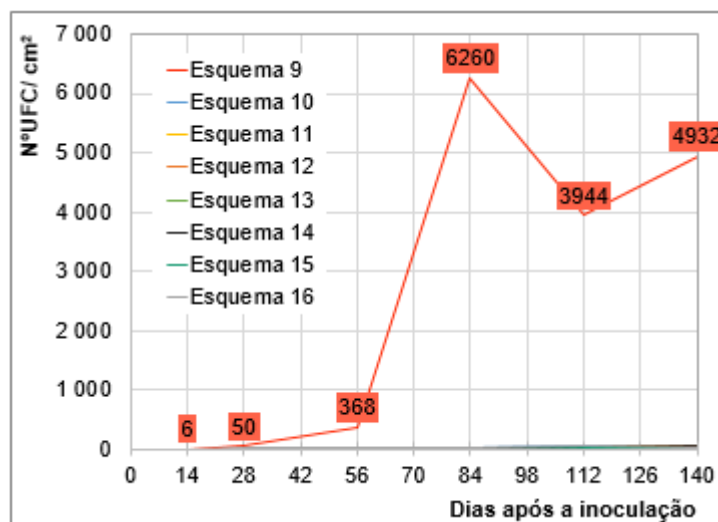


Figura 83 – Evolução do número de colônias de fungos do provete T2

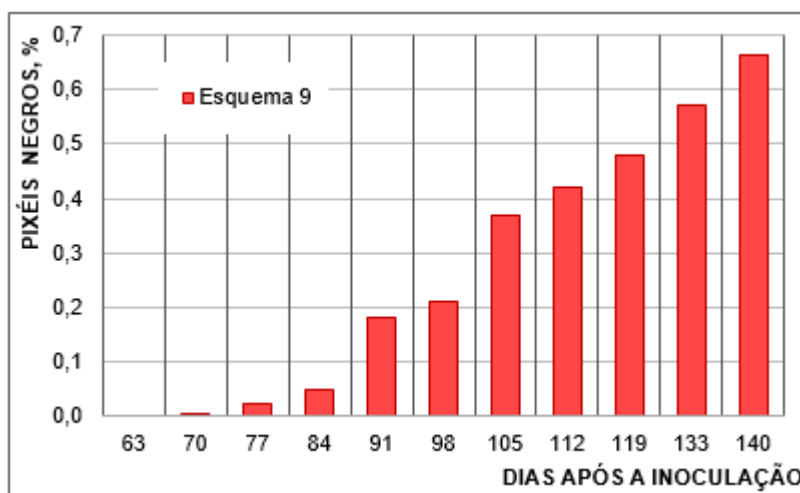


Figura 84 – Área contaminada por fungos visíveis, em percentagem, no esquema 9 do provete T2

O esquema 9 é constituído pela tinta A, usada como primário, e pela tinta E aplicada como acabamento. Apesar da elevada alcalinidade deste sistema de pintura (valores de pH superiores a 12), as proteções fúngicas das tintas aplicadas são baixas, o que possivelmente não permitiu uma inibição mais eficaz do desenvolvimento de fungos, no ensaio realizado.

Os restantes sistemas de pintura, aplicados no provete T2, apresentaram valores médios de colônias formadoras de fungos consideravelmente mais baixos, como mostra a Figura 85.

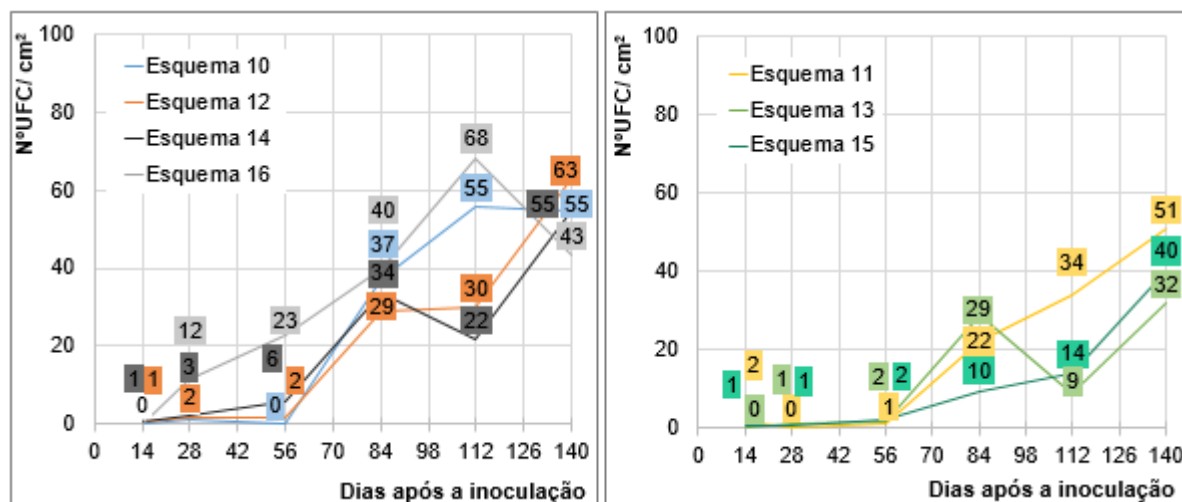


Figura 85 – Evolução do número de colónias de fungos nos esquemas 10 ao 16 do provete T2

A análise do comportamento de cada um dos sistemas aplicados, considera os valores médios máximos de cada esquema, como indicado na

Figura 86. O número de colónias máximo registou-se na quinta recolha (realizada aos 112 dias) no caso do esquema 16, sendo que nos esquemas 11, 12, 13 14 e 15 os valores máximos correspondem aos valores contabilizados na sexta recolha (140 dias de ensaio). No esquema 10, verificou-se que o número de colónias estabilizou nas 55 UFC/cm².

Esquema	UFC/cm ²	Sistema de Pintura
Esquema 9	6260	Tinta A + Tinta E
Esquema 16	68	Tinta D + Tinta I
Esquema 12	63	Tinta C + Tinta H
Esquema 10	55	Tinta B + Tinta F
Esquema 14	55	Tinta D + Tinta G
Esquema 11	51	Tinta C + Tinta G
Esquema 15	40	Tinta D+ Tinta H
Esquema 13	32	Tinta C + Tinta I

Figura 86 – Sistemas de pintura aplicados no provete T2

Sem considerar o esquema 9, constata-se que os sistemas de pintura restantes, aplicados na argamassa bastarda, indicaram valores de colónias baixos, da ordem de grandeza dos verificados no provete T1. Em todos estes esquemas (10 a 16) não se identificaram fungos visíveis nas suas superfícies.

Perante as condições do ensaio, verificou-se que no caso deste provete, o sistema de pintura em que se detetou o menor número de colónias (ainda que semelhante aos restantes) é composto pela tinta C e I. A tinta C possui uma proteção fúngica média e a tinta I uma proteção fúngica elevada. Conferem à superfície um valor de pH compreendido entre 8 e 9 e uma permeabilidade ao vapor de água média.

As tintas de silicatos (tintas B e F) conferem à superfície valores de pH superiores a 12 e uma alta permeabilidade ao vapor de água. A tinta B tem uma proteção fúngica baixa, e a tinta F apresenta uma

proteção fúngica média. Este sistema de pintura apresentou uma quantidade de colónias ligeiramente superior quando aplicado em substratos com argamassas bastardas.

Tal como no provete T1 verificou-se que o sistema de pintura com maior número de colónias (com exceção dos esquemas 1 e 9) é constituído pelas tintas D e I, que apresentam proteção fúngica elevada. Nas condições de ensaio estabelecidas, verifica-se que, quer em argamassas de cal, quer em argamassas bastardas, a aplicação de um sistema de pintura com elevada proteção fúngica nas duas camadas não aumenta a eficácia do sistema na inibição do desenvolvimento de fungos.

No caso das argamassas de cal e cimento, constata-se, para estas condições de ensaio, que um sistema de pintura que utiliza um primário de proteção fúngica média (tinta C) conduz a menores quantidades de colónias quando aplicado com um acabamento que possui uma proteção fúngica elevada (tinta I).

5.2.5. INFLUÊNCIA DO SUBSTRATO

Verifica-se que as quantidades de colónias de fungos (Figura 75 e Figura 76) são mais elevadas no provete de gesso cartonado hidrófugo, independentemente do sistema de pintura aplicado. Este facto pode estar diretamente relacionado com o tratamento hidrófugo das placas que lhes conferem resistência à água e à humidade. Assim, provavelmente a água, em estado líquido ou gasoso, fica retida na superfície do substrato.

Conclui-se que a manifestação de fungos nas superfícies das placas de gesso cartonado foi mais elevada nos sistemas de pintura que usaram como acabamento a tinta H (tinta com baixa proteção fúngica). O primário antifúngico utilizado nos sistemas de pintura (tinta D) não foi suficientemente adequado para a inibição do desenvolvimento de fungos.

Observa-se que no esquema 18 e no esquema 20, em que o sistema aplicado foi constituído pela tinta D e pela tinta I, o aparecimento de fungos visíveis nas suas superfícies foi mais tardio, comparativamente com os outros esquemas (17 e 19), tal como demonstrado nas Figura 73 e Figura 74.

Todas as tintas utilizadas para revestir as placas de gesso cartonado eram orgânicas, sendo uma possível fonte de nutrientes dos fungos. As superfícies inicialmente apresentavam valores de pH entre os 8 e 9, no entanto os fungos libertam enzimas ácidas, provocando a diminuição de pH e potenciando o seu desenvolvimento.

O sistema de pintura que se mostrou menos eficaz na inibição de fungos visíveis nas superfícies de placas de gesso cartonado foi o composto pela tinta D e pela H, que no caso do gesso cartonado normal corresponde ao que apresenta mais colónias formadoras de fungos. No caso do gesso cartonado hidrófugo, os resultados indicaram que a manifestação de fungos nas superfícies não foi maior para o sistema de pintura que apresentava mais colónias de fungos, constituído pelas tintas D e tinta I.

No caso das paredes de tabique, sendo que a T1 utilizou uma argamassa de cal e a T2 uma argamassa bastarda, o sistema de pintura constituído pelas tintas A e E (tinta à base de cal), apresentou a maior quantidade de colónias em cada um dos provetes. Para as condições de ensaio estabelecidas verificou-se que este sistema de pintura conduziu a um maior número de colónias de fungos quando aplicado numa argamassa bastarda. Relativamente ao sistema de pintura composto pelas tintas de silicatos (tinta B e tinta F), apresentou um menor número de colónias de fungos quando aplicado em substratos com argamassas de cal.

Quer no provete T1, quer no provete T2, os sistemas de pintura com a menor quantidade de fungos em cada um deles apresentava como primário a tinta C (proteção fúngica média), sendo que o número de

colônias foi ligeiramente superior no provete T2. No provete T1, esse sistema utilizou no acabamento a tinta H, enquanto que no provete T2 foi aplicado no acabamento a tinta I.

As placas de gesso cartonado, relativamente às paredes de tabique, apresentaram um número de colônias de fungos mais elevado. O sistema de pintura formulado com a tinta D e tinta H apresentou o pior desempenho na inibição do desenvolvimento de fungos quando aplicado na placa de gesso cartonado hidrófugo, sendo que na placa de gesso cartonado normal mostrou-se, igualmente, pouco adequado. Este sistema (tinta D e tinta H) apresentou menores quantidades de fungos quando aplicado em substratos rebocados com argamassas de cal e cimento.

5.3. SÍNTESE CRÍTICA

Como os ensaios se realizaram no interior de uma câmara climática a uma temperatura constante e como os sistemas de pintura aplicados não alteram as temperaturas superficiais, pode considerar-se que a temperatura não foi um fator preponderante no diferente comportamento apresentado pelos sistemas testados.

Apesar de todos os provetes estarem sujeitos às mesmas condições de humidade, no caso do gesso cartonado hidrófugo verificou-se um desenvolvimento de fungos mais acentuado. A situação pode ser justificada pelas características do substrato que possivelmente originam quantidades de humidade superiores nas superfícies deste provete.

Neste ensaio não foi possível avaliar a influência da permeabilidade ao vapor de água dos sistemas de pintura devido às condições de ensaio estabelecidas.

Os nutrientes disponíveis em cada um dos provetes pode estar relacionado com o tipo de substrato e, ainda com a espessura da película de tinta seca, no caso das tintas orgânicas. Comparando as placas de gesso cartonado com as paredes de tabique, as primeiras apresentaram as quantidades de fungos mais elevadas em todo o ensaio, independentemente da tinta aplicada. É possível afirmar que o cartão usado nessas placas poderá ser uma fonte de nutrientes para os fungos. Relativamente às disparidades verificadas entre as placas de gesso cartonado não se averiguou se estavam relacionadas com as diferenças do cartão utilizado em cada uma delas.

Os sistemas de pintura aplicados conferiram às superfícies valores de pH alcalinos, desde valores superiores a 12 a valores entre 8 e 9. No entanto, e apesar da proliferação de fungos acontecer preferencialmente em ambientes ácidos, a alcalinidade do meio não se apresentou eficaz para diminuir o desenvolvimento fúngico. Os sistemas de pintura alcalinos (tinta A e E, e tinta B e F) indicaram quantidades de colônias de fungos mais elevadas do que outros sistemas menos alcalinos. Para além disso deve ter-se em consideração que o tipo de fungo inoculado neste ensaio, *Penicillium*, desenvolve-se para valores de pH entre 2 e 11.

A tinta C utilizada como primário, que apresenta uma proteção fúngica média integrou os sistemas de pintura com menor desenvolvimento de fungos nos provetes T1 e T2. No provete T1 apresentou menor quantidade de fungos quando aplicado com a tinta H como acabamento, e no provete T2 quando combinado com a tinta I. No caso dos provetes T1 e T2, verificou-se que a aplicação de tintas com proteção fúngica elevada (caso da tinta D e tinta I) nas duas camadas do sistema de pintura não conduziu a uma quantidade de colônias de fungos menor.

De salientar que os resultados obtidos são característicos apenas deste ensaio, que teve condições muito específicas, ao longo de cerca de 5 meses.

6 CONCLUSÕES

6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação de desenvolvimentos de fungos em diferentes sistemas de pintura, aplicados em quatro substratos distintos, através de contagem de unidades formadoras de colónias e inspeção visual, permitiu concluir que, para as condições de ensaio estabelecidas:

- As zonas seleccionadas para as recolhas de fungos condicionaram os resultados, verificando-se, através da inspeção visual, que o maior crescimento ocorreu nas extremidades de cada elemento, estando provavelmente relacionada com a ausência de proteção destas áreas;
- As placas de gesso cartonado revelaram ser um substrato mais favorável ao desenvolvimento de fungos, quando comparadas com paredes de tabique, uma vez que os sistemas de pintura aplicados apresentaram menores quantidades de fungos nas paredes;
- A rugosidade dos substratos condicionou a manifestação visual dos fungos, visto que nas superfícies das paredes de tabique a quantidade de fungos era menor porque provavelmente as suas hifas penetraram o substrato;
- Entre as placas de gesso cartonado, o gesso cartonado hidrófugo mostrou-se mais propício ao crescimento de fungos nas suas superfícies;
- As tintas de cal aplicadas nas paredes de tabique não indicaram um desempenho satisfatório na inibição destes microrganismos, sendo o único sistema de pintura a apresentar fungos visíveis na sua superfície;
- O sistema de pintura constituído por tintas de silicatos, teve melhor desempenho quando aplicado sobre substratos com argamassas de cal;
- Nas condições, em que foi realizado o ensaio, não é possível concluir que se a utilização de tintas com elevada proteção fúngica nas duas camadas conduz a um menor número de colónias de fungos, quer no provete T1, quer no provete T2;
- À exceção do acabamento a tinta de cal, todos os outros sistemas de pintura aplicados nas paredes de tabique, não permitiram a proliferação de fungos, apresentando superfícies sem fungos visíveis e quantidades de colónias formadoras de fungos reduzidas;
- O efeito da inoculação dos provetes apenas foi observado para quantidades de fungos baixas;

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Ao terminar esta dissertação conclui-se que muitos outros trabalhos se podem desenvolver sobre este tema. Em seguida, apresentam-se alguns dos trabalhos possíveis, na avaliação de desenvolvimento de fungos em superfícies pintadas:

- Realizar trabalhos que avaliem a influência da rugosidade das superfícies no desenvolvimento visível dos fungos, verificando microscopicamente a penetração das hifas dos fungos nos substratos;
- Realizar ensaios semelhantes, com análise dos valores de pH das superfícies em várias etapas. Percebendo assim, de que forma a proliferação dos fungos altera o pH das superfícies e que valores de pH são mais favoráveis ao desenvolvimento fúngico;
- Submeter os provetes antes do início do ensaio a processos de lixiviação e carbonatação, para estudar os sistemas de pintura a médio e longo prazo;
- Realizar ensaios para outras espécies de fungos, comparando posteriormente os resultados de forma a verificar se as tintas com proteção fúngica obtêm os mesmos resultados;
- Ensaiar sistemas de pintura com cores distintas expostos à luz solar, avaliando se as temperaturas que certas cores atingem promovem o crescimento de fungos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Sedlbauer, Klaus. *Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components*. Fraunhofer Institute for Building Physics, 2001.
- [2] Veiga, M. R. *Intervenções em revestimentos antigos: conservar, substituir ou... destruir*. 2º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de edifícios (PATORREB), Porto, 2006.
- [3] Ramos, N. M., De Freitas, V. P. *Análise do impacto das práticas construtivas actuais nos níveis de humidade do ar interior*. Actas do 2º Encontro sobre patologia e reabilitação de edifícios PATORREB 2006, Vol. 1, 2006.
- [4] Gomes, J.A.F.F. *The appearance of moulds in buildings*. International Symposium on Moisture Problems in Building Walls, 1995, Porto, 42-51.
- [5] Mendonça, L.V. *Condensações em edifícios*. Arquitectura & Vida, 2005, 63: 71-74.
- [6] Caneva, G., Nugari M. P., Salvadori, O. *La biología en la restauración*. Vol. 5. Editorial Nerea, 2000.
- [7] DOD, U. S. *Test Method Standard for Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests*. US Department of Defense, Defense Technical Information Center, Fort Belvoir, VA, Military Specification MILSTD-810G, 2008.
- [8] ISO 16000-16, *Indoor air - Part 16: Detection and enumeration of moulds -- Sampling by filtration*, International Organization for Standardization 2008
- [9] Guerra, F. L., Da Cunha, E. G., Da Silva, A. C. S. B., Knop, S. *Análise das condições favoráveis à formação de bolor em edificação histórica de Pelotas, RS, Brasil*. Ambiente Construído, 12.4: 7-23
- [10] Black, C. *Mould resistance of full scale wood frame wall assemblies*. MS thesis. University of Waterloo, 2006.
- [11] Lima, N., Venâncio, A. *Agentes biológicos (fungos) na atmosfera de trabalho*. Riscos dos agentes biológicos: manual de prevenção, 1999, 369-397.
- [12] Crook, B., Burton, N. C. *Indoor moulds, sick building syndrome and building related illness*. Fungal Biology Reviews, 2010, 24.3: 106-113.
- [13] Nielsen, K. F., Thrane, U. *Mould growth on building materials: Secondary metabolites, mycotoxins and biomarkers*. Technical University of Denmark Danmarks Tekniske Universitet, Department of Systems Biology Institut for Systembiologi, 2002.
- [14] Adan, O. C. G. *On the fungal defacement of interior finishes*. PhD dissertation, Technical University of Eindhoven, 1994.
- [15] OAA (Ontario Association of Architects). *OAA Mould Control Practice Guide*. 2003, Toronto.
- [16] Nofal, M., Kumaran, K. *Biological damage function models for durability assessments of wood and wood-based products in building envelopes*. European Journal of Wood and Wood Products, 2011, 69.4: 619-631.
- [17] Sedlbauer, K., Krus, M., Zillig, W., Kunze, H. M. *Mold growth prediction by computational simulation*. Fraunhofer Institute for Building Physics, 2001.

- [18] Arumala, J. O. *Mold and the Construction Industry*. International Journal of Construction Education and Research, 2006, 2.2: 75-89.
- [19] Singh, J., Yu, Chuck W. F., Kim, J. T. *Building pathology, investigation of sick buildings—toxic moulds*. Indoor and Built Environment, 2010, 19.1: 40-47.
- [20] Carson, S. E. *Toxic mold: latest construction defect*. Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice, 2003, 129.3: 171-176.
- [21] Johansson, P., Wamming, T., Bok, G., Edlund, M. L. *Mould growth on kiln-dried and air-dried timber*. European Journal of Wood and Wood Products, 2013, 71.4: 473-481.
- [22] Viitanen, H. *Factors affecting the development of mould and brown rot decay in wooden material and wooden structures*. 1996.
- [23] Ojanen, T., Viitanen, H., Peuhkuri, R. *Modelling of Mould Growth in Building Envelopes*. IEA-Annex Meeting Porto, 2007.
- [24] Viitanen, H., Vinha, J., Peuhkuri, R., Ojanen, T., Lähdesmäki, K., Salminen, K. *Development of an improved model for mould growth: Modelling*. Proceedings of 8th Nordic Symposium on Building Physics, 2008, Copenhagen.
- [25] Di Giuseppe, E. *Analytical and Experimental Methods for the Assessment of the Biological Proliferation in Buildings*. Nearly Zero Energy Buildings and Proliferation of Microorganisms. Springer International Publishing, 2013, p. 37-58.
- [26] Ojanen, T., Viitanen, H., Peuhkuri, R. *Modelling of Mould Growth in Building Envelopes*. IEA-Annex Meeting Porto, 2007.
- [27] Clarke, J. A., Johnstone, C. M., Kelly, N. J., Mclean, R. C., Rowan, N. J., Smith, J. E. *A technique for the prediction of the conditions leading to mould growth in buildings*. Building and Environment, 1999, 34.4: 515-521.
- [28] Sedlbauer, K., Krus, M., Breuer, K. *Mould growth prediction with a new biohygrothermal method and its application in practice*. 2003.
- [29] Sedlbauer, K. *Prediction of mould growth by hygrothermal calculation*. Journal of Building Physics, 2002, 25.4: 321-336.
- [30] Hukka, A., Viitanen, H. A. *A mathematical model of mould growth on wooden material*. Wood Science and Technology, 1999, 33.6: 475-485.
- [31] Salminen, K., Vinha, J., Viitanen, H. *A mathematical modeling of moisture behaviour and mould growth in building envelopes*. Annex, 2008, 41: 26-28.
- [32] Salminen, K., PeuhkurI, R., Lähdesmäki, K., Viitanen, H., Vinha, J., Paajanen, L., Strander, T. *Mould growth on building materials in laboratory and field experiments*. Rakennusfysiikka 2009. Symposium Proceedings. 2009.
- [33] Viitanen, H., Vinha, J., Salminen, K., Ojanen, T., Peuhkuri, R., Paajanen, L., Lähdesmäki, K. *Moisture and bio-deterioration risk of building materials and structures*. Journal of Building Physics, 2010, 33.3: 201-224.
- [34] Nielsen, K. F., Holm, G., Uttrup, L. P., Nielsen, P. A. *Mould growth on building materials under low water activities. Influence of humidity and temperature on fungal growth and secondary metabolism*. International Biodeterioration & Biodegradation, 2004, 54.4: 325-336.

- [35] Wiktor, V., De Leo, F., Urzì, C., Guyonnet, R., Grosseau, P., Garcia-Diaz, E. *Accelerated laboratory test to study fungal biodeterioration of cementitious matrix*. International Biodeterioration & Biodegradation, 2009, 63.8: 1061-1065.
- [36] Johansson, P. *Determination of the critical moisture level for mould growth on building materials*. Byggnadsfysik LTH, Lunds Tekniska Högskola, 2014.
- [37] Haas, D., Habib, J., Galler, H., Buzina, W., Schlacher, R., Marth, E., Reinthaler, F. F. *Assessment of indoor air in Austrian apartments with and without visible mold growth*. Atmospheric Environment, 2007, 41.25: 5192-5201.
- [38] Marques, F. P. F. M. *Tecnologias de aplicação de pinturas e patologias em paredes de alvenaria e elementos de betão*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2013.
- [39] Matos, M. C. S. *Estudo da incorporação de estearatos em tintas de forma a aumentar a sua impermeabilidade à água*. Dissertação de Doutoramento, Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e de Gestão, 2008.
- [40] Cruz, H., Nunes, L. *Materiais de construção-Guia de utilização*. Loja da Imagem/Arquitectura e Vida/Engenharia e vida, 2005.
- [41] Santos, V.L. *Tintas e Vernizes Coleção "Monografias de Materiais e de Elementos de Construção"*. Secção de Tecnologias da Faculdade de Arquitectura da U.T.L, 1998.
- [42] NP-41, *Tintas e Vernizes. Terminologia; Definições*, Instituto Português da Qualidade, 1982.
- [43] Petrucci, E.G.R. *Materiais de Construção*. E. Globo, 1993, p. 370-389.
- [44] Gonçalves, M. C., Margarido, F., Simões, A., Correia, A., Costa, C. M., De Almeida, V., Gil, L. *Ciência e Engenharia de Materiais de Construção*. Lisboa, 2012, p. 900-929.
- [45] MANUAL, ENGINEER. *Painting: New Construction and Maintenance*. US Army, 1995.
- [46] De Carvalho Alua, P. M. N. *Optimização da opacidade de tintas aquosas*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico de Lisboa, 2012.
- [47] Veiga, M. R., Tavares, M. *Características das paredes antigas. Requisitos dos revestimentos por pintura*. Actas do Encontro A indústria das tintas no início do século XXI. 2002, Lisboa, APTETI.
- [48] Faria, P. *A cal na composição e conservação dos revestimentos*. XI Congresso Internacional de Reabilitação do Património Arquitectónico Edificado-Seminário Restauro e Uso de Materiais e Técnicas Tradicionais. 2012. p. 1-10.
- [49] Tavares, M. *Revestimentos por pintura para edifícios antigos: um estudo experimental sobre as caiações e as tintas de silicatos*. Caderno de Edifícios, 2002, p. 139-151.
- [50] Gonçalves, T., Eusébio, I. *Revestimentos por pintura para edifícios antigos. Exigências funcionais e ensaios preliminares*. Congresso Construção 2001, dezembro de 2001, Instituto Superior Técnico de Lisboa.
- [51] Bortak, T. N. *Guide to Protective Coatings Inspection and Maintenance*. US Department of the Interior, Bureau of Reclamation, 2002.
- [52] Roobol, N. R. *Industrial Painting and Powdercoating: Principles and Practices*. Hanser Gardner, 2003.

- [53] Carranquinha, A. C. G. *Implementação de Novos Métodos para Quantificação dos Constituintes de Tintas Aquosas*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico de Lisboa, 2011.
- [54] Gonçalves, T. D. *REBOCOS, BARRAMENTOS, PINTURAS DE CAL E OUTRAS PINTURAS PARA EDIFÍCIOS ANTIGOS* Alguns casos de estudo. Seminário sobre cor e conservação de superfícies arquitectónicas Lisboa, LNEC.
- [55] Verkholantsev, V. V. *Coating additives, part XIV: Biocides*. European coatings journal, 2000.
- [56] Zhang, L. Z., Niu, J. L. *Effects of substrate parameters on the emissions of volatile organic compounds from wet coating materials*. Building and Environment, 2003, 38.7: 939-946.
- [57] Jardim, D., Diegues, P., Santiago, A., Matias, P., Reis, V., Matos, J., Gomes, P. *Metodologia de avaliação da qualidade do ar interior em edifícios de comércio e serviços no âmbito da Portaria 353-A/2013* (versão QAI_1. 0). 2015.
- [58] Sagiv, E. *Tintable water-based coating composition*. U.S. Patent No 6,194,513, 2001.
- [59] Bach, E. E., Rangel, A. R. *Biodeterioração de tintas à base de água por fungos*. Revista Exacta, 2005, 3: 79-84.

